



Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

- + *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.
- + *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.
- + *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.
- + *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página <http://books.google.com>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

Princeton University Library



32101 049824012

ST
9280
743
v. 11, pt. 1
1922

ANNEX LIB.

Library of



Princeton University.

5
28
74
11,
19

REVUE GÉNÉRALE ^B DE L'ÉLECTRICITÉ

*Stecker
Elect. En*

ORGANE DE L'UNION DES SYNDICATS DE L'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR

J. BLONDIN, AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ

TOME XI

7 Janvier 1922 — 1^{er} Juillet 1922



PARIS

AUX BUREAUX DE LA REVUE

12, PLACE DE LABORDE (8^e ARR^t)

1922

CONSEIL D'ADMINISTRATION

PRÉSIDENT

CORDIER Gabriel. — Président d'honneur de l'Union des Syndicats de l'Electricité.
Président de l'Union des Industries métallurgiques et minières.

VICE-PRÉSIDENTS

LEGOUZ Raynald. — Vice-président de la Chambre de Commerce de Paris. — Président de l'Union des Syndicats de l'Electricité.

MEYER Ferdinand. — Président d'honneur du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Président du Conseil d'Administration de la Compagnie continentale Edison..

ADMINISTRATEURS

BIZET Paul. — Président honoraire du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Administrateur de la Compagnie générale d'Electricité.

BERTHELOT Daniel. — Membre de l'Institut. — Président d'honneur du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Président du Conseil d'Administration de la Société d'Electricité de Paris.

BRYLINSKI Emile. — Président d'honneur et Délégué général du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique.

CAHEN Henri. — Président du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Administrateur délégué du Sud-Electrique.

DUVAL Charles. — Directeur des Services électriques de la Société générale d'Entreprises.

ESCHWEGE Paul. — Président d'honneur du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Directeur de la Société d'Eclairage et de Force par l'Electricité.

FONTAINE Eugène. — Vice-président du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Secrétaire de l'Union des Syndicats de l'Electricité.

GIRARDEAU Emile. — Ingénieur. — Ancien élève de l'Ecole Polytechnique. — Administrateur Directeur technique de la Société française Radio-Electrique.

LÉVI Lazare. — Administrateur-Directeur général de la Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston. — Administrateur délégué de la Compagnie lorraine de Charbons, Lampes et Appareillage électriques.

MASSE René. — Vice-Président, Directeur de la Société d'Eclairage, Chauffage et Force motrice. — Ingénieur civil des Mines, ancien élève de l'Ecole Polytechnique.

MAZEN Natalis. — Sous-directeur honoraire des Chemins de fer de l'Etat. — Professeur à l'Ecole supérieure d'Electricité.

MEYER Marcel. — Ancien Président du Syndicat professionnel des Industries électriques. — Directeur de la Compagnie générale des Travaux d'Eclairage et de Force (Etablissements Clémangeon).

MICHEL Charles. — Directeur de la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à Gaz.

PARÉ Marcel. — Ingénieur de la Société saint-quentinoise d'Eclairage, de Chauffage et de Force motrice. — Administrateur de la Compagnie continentale pour la Fabrication des Compteurs.

PETIT Joseph. — Administrateur délégué de l'Omnium lyonnais de Chemins de fer et Tramways. — Administrateur de la Compagnie du Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris.

SAUREL Maurice. — Docteur en droit. — Administrateur délégué de la Compagnie des Lampes.

TICIER Armand. — Directeur de la Société d'Eclairage électrique de Bordeaux et du Midi.

SECRÉTAIRE DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

DURANGEL George. — Secrétaire général honoraire de l'Energie électrique du Littoral méditerranéen.

COMMISSAIRES DES COMPTES

DIEUDONNÉ Jules. — Chef de la comptabilité des Tramways de Paris et du Département de la Seine.

ROSENFELD L. — Secrétaire du Conseil de la Compagnie de l'Air comprimé. — Membre de la Compagnie des Experts-comptables de Paris.

DIRECTEUR

BLONDIN J. — Agrégé de l'Université.

COMITÉ DE RÉDACTION

PRÉSIDENT

Blondel, André, Membre de l'Institut, Professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées

VICE - PRÉSIDENTS

Brylinski, E., Président d'honneur et Secrétaire général du Syndicat des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique, Président du Comité électrotechnique français.

Janet, Paul, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des

Sciences de l'Université de Paris, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité.

Leblanc, Maurice, Membre de l'Institut, Ancien Président de la Commission électrotechnique internationale, Ingénieur-conseil.

SECTION SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE

d'Arsonval, A., Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France.

Berthelot, Daniel, Membre de l'Institut, Président du Conseil d'Administration de la Société d'Électricité de Paris.

Brillouin, M., Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France.

† **Deprez, Marcel**, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Ferrié, Général G., Membre de l'Institut, Inspecteur général des Services de la Radiotélégraphie militaire.

† **Lippmann, G.**, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Violle, J., Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Bergonié, Dr J.-A., Membre correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine de Bordeaux.

Guillaume, Ch. Ed., Membre correspondant de l'Institut, Directeur du Bureau central des Poids et Mesures.

Barbillion, L.-C., Professeur à l'Université de Grenoble, Directeur de l'Institut électrotechnique de Grenoble.

Becker, J., Licencié ès sciences.

Bethenod, J., Ingénieur en chef de la Société française Radio-Électrique.

Bion, Capitaine de corvette, Membre de la Commission d'Études pratiques de Radiotélégraphie de la Marine.

Boucherot, P., Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielle de la Ville de Paris.

Broca, A., Professeur agrégé de physique à la Faculté de Médecine, Répétiteur à l'École Polytechnique.

Camichel, C., Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Institut électrotechnique de Toulouse.

Chaumat, H., Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, Sous-Directeur honoraire de l'École supérieure d'Électricité.

Dennerly, A., Inspecteur général des Postes et Télégraphes, Directeur de l'École professionnelle supérieure des Postes et Télégraphes.

† **Devaux-Charbonnel, X.**, Ingénieur en chef des Télégraphes.

Fabry, Ch., Professeur à la Faculté des Sciences de Paris, Examinateur à l'École Polytechnique.

Féry, Ch., Docteur ès sciences, Professeur à l'École de Physique et de Chimie.

Girault, P., Ingénieur électricien.

Guilbert, C.-F., Ingénieur électricien, Professeur adjoint au Conservatoire national des Arts et Métiers, Arbitre rapporteur près le Tribunal de Commerce de la Seine, Sous-directeur de l'École supérieure d'Électricité.

Guillebot de Nerville, Ingénieur en chef des Télégraphes, Professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées.

Gutton, C., Professeur à l'Université de Nancy.

Jouaust, R., Chef de travaux au Laboratoire central d'Électricité.

Jouguet, Ingénieur en chef au Corps des Mines.

Lamotte, M., Professeur à la Faculté des Sciences et à l'Institut électrotechnique de Toulouse.

Langevin, P., Professeur au Collège de France.

Laporte, F., Sous-Directeur du Laboratoire central d'Électricité.

Latour, Marius, Ingénieur-conseil.

Léauté, André, Répétiteur de physique à l'École Polytechnique, Administrateur délégué de la Société des Recherches et Perfectionnements industriels.

Liénard, A., Sous-directeur de l'École supérieure des Mines.

Mauduit, A., Professeur d'Électrotechnique à la Faculté des Sciences de Nancy.

Pérot, A., Professeur à l'École Polytechnique.

† **Poincaré, Lucien**, Vice-recteur de l'Académie de Paris.

Pomey, J.-B., Ingénieur en chef des Télégraphes.

Rigollot, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Lyon, Directeur de l'École centrale lyonnaise.

Swyngedauw, R.-A., Professeur à l'Université de Lille, Directeur de l'Institut électrotechnique de Lille.

† **Tissot, C.**, Capitaine de frégate.

Turpain, A., Professeur de physique à la Faculté des Sciences de Poitiers.

Vogt, Directeur de l'Institut électrotechnique de Nancy.

Weiss, P., Professeur à l'Université de Strasbourg.

SECTION INDUSTRIELLE, ÉCONOMIQUE et FINANCIÈRE

† **Carpentier, J.**, Membre de l'Institut, Constructeur électricien.

Le Chatelier, Henri, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Liesse, André, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Witz, A., Membre correspondant de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences de Lille.

† **Armagnat, H.**, Ingénieur-conseil, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

Auvert, Ingénieur principal du matériel de la Compagnie P.-L.-M (installations électriques).

† **Bellet, Daniel**, Secrétaire de la Société d'Économie politique, Professeur à l'École libre des Sciences politiques.

Bochet, A., Directeur de l'École centrale des Arts et Manufactures, Ancien Président de la Société internationale des Électriciens.

Brenot, P., Ancien chef du Centre radiotélégraphique de Paris et du Service de T. S. F. au Ministère des Colonies, Directeur technique de la Société française Radio-Électrique.

Brocq, Directeur de la Compagnie pour la Fabrication des Compoteurs et Matériel d'usines à gaz.

de la Brosse, Ingénieur en chef du Service des Forces hydrauliques des Alpes.

Buffet, J., Président de la Société nancéenne de Crédit industriel et de Dépôts.

Cambon, Victor, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Charpenay, Banquier, Membre de la Chambre de Commerce de Grenoble, Administrateur délégué de la Société des Forces motrices du Haut-Grésivaudan.

Caudrelier, F., Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef des Services électriques de la Compagnie parisienne de Distribution d'Électricité.

Cordier, F., Colonel d'Artillerie.

Cordier, Fernand, Directeur de l'usine de Champagne-sur-Seine des Établissements Schneider.

† **Cote**, E., Ancien directeur de *La Houille blanche*, Fondateur des *Annales de l'Énergie*.

Drouin, F., Directeur des Services techniques de la Compagnie générale d'Électricité.

Eydoux, D., Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées.

Eyrolles, L., Ingénieur, Directeur de l'École spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie.

Flusin, Professeur d'Électrochimie et d'Électrometallurgie à la Faculté des Sciences de Grenoble.

Girod, Paul, Administrateur délégué des Établissements Paul Girod, à Ugine.

Gratzmuller, L., Ingénieur en chef du matériel de traction électrique à la Société Alsacienne de Constructions mécaniques.

Guyon, Directeur de la Compagnie des Tramways de Lyon.

Hugoniot, Ingénieur-conseil.

Imbs, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la Compagnie parisienne de Distribution d'Électricité.

Jumau, Ingénieur.

Juppont, Ingénieur-conseil.

Labour, P., Ingénieur.

Labrouste, P., Ingénieur-conseil.

Laurain, H., Président de la Société d'Électricité de Reims et de la Société des Tramways électriques de Reims, Directeur des Services techniques de la Société du Gaz de Paris, Membre du Conseil de l'École centrale des Arts et Manufactures.

Lauriol, P., Ingénieur en chef des Services généraux d'Éclairage de la Ville de Paris.

Legouez, R., Vice-président de la Chambre de Commerce de Paris, Président de l'Union des Syndicats de l'Électricité.

Lelong, Ingénieur en chef des Constructions navales, Ministère de la Marine.

Lépine, Charles, Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur-délégué de la Société hydroélectrique de Fure et Morge et de Vizille.

Lévy-Salvador, Paul, Chef du Service technique de l'hydraulique agricole au Ministère de l'Agriculture.

Locherer, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris.

Loppé, F., Ingénieur des Arts et Manufactures.

Lorin, Maître de conférences à l'École centrale des Arts et Manufactures.

Mamy, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

de Marchena, Sous-Directeur de la Compagnie française Thomson-Houston.

Mariage, André, Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur général de la Compagnie des Transports en commun de la Région parisienne.

Maugas, Gabriel, Ingénieur général du Génie Maritime.

Mazen, N., Sous-directeur honoraire des Chemins de fer de l'État, Professeur à l'École supérieure d'Électricité.

Parodi, H., Ingénieur, Chef des Services électriques du Matériel et de la Traction du Chemin de fer d'Orléans.

Picou, R., Ingénieur-conseil, ancien Président du Comité électrotechnique français.

† **Piérrart**, Lieutenant-colonel, Chef de l'Établissement central de Matériel spécial du Génie.

Pinot, R., Secrétaire général de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques.

Resal, Eugène, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Administrateur-directeur des Tramways de Bordeaux.

Rey, J., Administrateur-directeur de la maison Sautter-Harlé.

Roth, E., Ingénieur électricien.

Roux, G., Directeur du Bureau de Contrôle des Installations électriques.

de Valbreuze, Ingénieur électricien, Administrateur-délégué des Anciens Établissements Deberghe et Lafaye.

Vautier, T., Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

Walkenaer, Ch., Inspecteur général des Mines.

Weiss, Georges, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Doyen de la Faculté de Médecine de Strasbourg.

SECTION DE LÉGISLATION

Bougault, P., Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Carpentier, E., Professeur adjoint à la Faculté de Droit de Paris, Avocat à la Cour d'Appel.

Ducreux, A., Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Fontaine, E., Vice-président du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique, Secrétaire de l'Union des Syndicats de l'Électricité.

Frenoy, Avocat à la Cour de Cassation et au Conseil d'État.

Mahieu, A., Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Secrétaire général du Ministère des Travaux publics.

Monmerqué, A., Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Président du Comité permanent d'Électricité.

Payen, F., Docteur en droit, Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

† **Sée**, Raymond, Ancien élève de l'École Polytechnique, Docteur en Droit, Directeur de l'Ouest-Lumière.

Sirey, Ch., Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Taillefer, A., Avocat à la Cour de Paris, ancien Élève de l'École Polytechnique, Membre de la Commission technique de l'Office national de la Propriété industrielle.

de la Taste, Avocat à la Cour d'Appel de Paris, Licencié ès sciences physiques et chimiques.

Weiss, Inspecteur général des Mines.

Zacon, Inspecteur du Travail

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

Recherches et travaux scientifiques

GENERALITES

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Théorie. — Electricité et matière, par J.-J. Thomson (Bibliographie) | 642 |
| La théorie de Bohr. La constitution de l'atome et la classification périodique des éléments, par Edmond Bauer (Bibliographie) | 339 |
| La constitution de la matière, par Max Born (Bibliographie) | 810 |
| La constitution de l'atome (E. Bauer) | 299 |
| Les théories électriques de la matière (Marcel Brillouin) | 882 |
| Sur la dynamique de la relativité (Langevin) | 158 |
| Le problème de la relativité dans les diélectriques (Carrallo) | 156 |
| L'expérience de Michelson et la théorie de la relativité (E. Brylinski) | 345 |
| Erratum | 448 |
| Contraction de Lorentz et relativité (F. Guéry) | 179, 449 |
| La désintégration artificielle des éléments (E. Rutherford) | 601 |
| Sur l'électrodynamique des milieux homogènes et isotropes en repos (Louis Roy) | 815 |

ELECTRICITE ET MAGNETISME

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Généralités. — Traité d'électricité théorique, par Jacques Carvallo (Bibliographie) | 562 |
| Cours d'électricité générale de l'Ecole navale, par E. Haudic (Bibliographie) | 914 |
| Cours d'électricité et de magnétisme. Principes d'électrotechnie, par Emile Piéard (Bibliographie) | 178 |
| Problèmes et exercices d'électricité générale, par Paul Janet (Bibliographie) | 682 |
| Traité d'électricité industrielle, par Hector Pêcheux (Bibliographie) | 602 |
| Précis d'électricité industrielle. Les appareils à courant alternatif, par Maurice Soubrier (Bibliographie) | 850 |
| Problèmes élémentaires avec schémas à l'usage des écoles et cours d'enseignement technique (Electricité industrielle), par F. Harang | 146 |
| Manuel de l'électricien (Bibliographie) | 378 |
| Sur la nature des grandeurs et le choix d'un système d'unités électriques (P. Langevin) | 250 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Electrostatique. — DIÉLECTRIQUES ET CONDENSATEURS. | |
| La rigidité diélectrique des isolants solides (W.-S. Flight) | 795 |
| La constante diélectrique de quelques éthers à basse température (L.-C. Jackson) | 890 |
| Etude expérimentale sur les pertes d'énergie dans quelques diélectriques industriels (Augustin Frigou) | 917 |
| Propriétés et caractéristiques des matériaux isolants (R.-C. Fleming) | 553 |
| Emploi des isolants dans les condensateurs électriques (C.-F. Guilbert) | 829 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Electrocinétique et Electrodynamique. — COURANT ÉLECTRIQUE. — Mesure des écarts par rapport à la loi d'Ohm dans les métaux soumis à de fortes densités de courant (P.-W. Bridgman) | 490 |
| Action de la chaleur et de la lumière sur la conductibilité de certains sulfures (P. Vaillant) | 269 |
| Corollaires des lois de Kirchhoff. Principe de la superposition des états d'équilibre (G. Dufrène) | 379 |
| Détermination des grandeurs caractéristiques des circuits parcourus par des courants alternatifs à l'aide d'une méthode semi-analytique, semi-géométrique (Fr. Natalis) | 272 |
| Sur l'électrodynamique des milieux homogènes et isotropes en repos (Louis Roy) | 815 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ELECTROLYSE. — Recherches récentes sur les anomalies des électrolytes forts (L. Ebert) | 858 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| DÉCHARGE ÉLECTRIQUE. — Sur le potentiel explosif des gaz aux pressions élevées (Ch.-Eug. Guye) | 118 |
| L'arc électrique dans l'industrie chimique. L'acide nitrique et les nitrates (A. Clarke) | 757 |
| Etude du champ électrique au moyen de la photographie (Bernhard) | 119 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Magnétisme. Electromagnétisme. — Théorie du champ intrinsèque d'un aimant et relation entre ses propriétés magnétiques et ses propriétés électriques et thermiques caractéristiques (J.-R. Asworth) | 888 |
| Quelques remarques concernant les feuillets magnétiques (A. Liénard) | 382 |
| Sur les feuillets magnétiques (E. Brylinski) | 490 |
| Influence des dimensions d'un aimant permanent sur son coefficient de température (K. Honda et T. Matumura) | 622 |

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Sur les tensions et pressions Maxwell dans les aimants et les diélectriques (<i>G. Gouy</i>)..... | 492 | Sur les négatrons (<i>A. Blondel</i>)..... | 145 |
| Quelques remarques concernant les aimants de volume fini et les courants non linéaires (<i>A. Liénard</i>).... | 424 | Le magnétron (<i>A.-W. Hull</i>)..... | 404 |
| Démonstration des discontinuités de l'aimantation par les amplificateurs et les téléphones (<i>P. Weiss et G. Ribaud</i>)..... | 270 | Rayons X. — Rayons X mous caractéristiques émis par l'arc éclatant dans les gaz et les vapeurs (<i>F.-L. Mohler et P.-D. Foote</i>)..... | 780 |
| Recherches sur le paramagnétisme (<i>G. Fax</i>)..... | 387 | Radioactivité. — La désintégration artificielle des éléments légers (<i>E. Rutherford et J. Chadwick</i>)..... | 311, 601 |
| Note sur la relation entre la constante diélectrique, la perméabilité magnétique et la vitesse de la lumière (<i>Brylinski</i>) | 232 | Thermoélectricité. — Action thermoélectrique et conduction thermique dans les métaux (<i>Edwin-H. Hall</i>) | 349 |
| Sur la striction électromagnétique (<i>F. Guéry</i>)..... | 913 | Utilisation de la force thermoélectrique de contact pour identifier quelques aciers (<i>Galibourg</i>)..... | 842 |
| Sur les actions mutuelles de courants et d'aimants plongés dans un milieu magnétique illimité (<i>H. Chipart</i>) | 191 | Magnétooptique. — Sur un effet électro et magnéto-optique des liquides qui tiennent des poudres métalliques en suspension (<i>S. Procopiu</i>)..... | 815 |
| Révision de quelques lois de l'électromagnétisme (<i>Carl Hering</i>) | 532 | | |
| A propos de la « Révision de quelques lois de l'électromagnétisme » (<i>Paul Bary</i>)..... | 681 | SCIENCES DIVERSES | |
| A propos de la « Révision de quelques lois de l'électromagnétisme » (<i>A. Liénard</i>)..... | 849 | Mathématiques. — Théorie sommaire de la règle à calcul, par <i>Emile Piérard</i> (Bibliographie)..... | 482 |
| Sur l'identité de nature du champ magnétique et de l'induction magnétique (<i>Henri Abraham</i>)..... | 268 | A propos d'abaques pour le calcul des garanties des transformateurs (<i>L. Dubar</i>)..... | 628 |
| Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? (<i>A. Ilievici</i>) | 264 | Abaques auxiliaires pour le calcul des lignes (<i>Ulrich Meyer</i>) | 615 |
| Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique (Réponse à <i>M. Ilievici</i> (<i>E. Brylinski</i>)..... | 384 | Hydraulique. — Sur les surfaces de discontinuité (<i>Camichel</i>) | 496 |
| Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? (<i>Abraham, D. Berthelot, E. Brylinski, Hadamard, Langevin, Liénard et J.-B. Pomey</i>), 116, 177, 385, 426, 461, | 494 | Sur l'utilisation de l'énergie des marées (<i>Cycle Maire, Cycle Claude, Cycle Etat, Cycle Defour</i>) (<i>A. Defour</i>) | 313 |
| Oscillations et Ondes électriques. — Quelques théorèmes sur les oscillations propres des systèmes de circuits (<i>Léon Bouthillon</i>)..... | 656 | Réponse à l'article « Discussion théorique de la méthode de mesure des débits de <i>N.-R. Gibson</i> » (<i>Karl.-I. Karlsson</i>) | 217, 233 |
| Sur l'entretien simultané d'un circuit oscillant et de circuits harmoniques (<i>C. Gutton</i>)..... | 621 | A propos de la mesure des débits d'eau par les surpressions résultant d'une fermeture (<i>Comte de Sparre</i>) | 337 |
| Sur la synchronisation harmonique des oscillations électriques (<i>Mercier</i>)..... | 578 | Cours d'hydraulique industrielle (<i>A. Routin</i>)..... | 882 |
| Amortissement des oscillations des résonateurs de télégraphie sans fil (<i>H. de Bellescize</i>)..... | 959 | Mécanique. — Projet de normalisation des éléments de la construction mécanique (<i>Commission permanente de Standardisation</i>)..... | 714 |
| Les phénomènes radiotélégraphiques (<i>I.-H. Dellinger et L.-E. Whitemare</i>)..... | 797 | Etude des calibres industriels au moyen des interférences lumineuses (<i>A. Pérard</i>)..... | 506 |
| Propagation des ondes dans les transformateurs (<i>H. Massing</i>) | 75 | Sur l'équilibrage des pièces tournantes (<i>C. Féru et J. Labouret</i>) | 919 |
| Note sur la propagation des ondes dans les transformateurs (<i>H. Massing</i>)..... | 310 | L'enregistreur Gueugnon (<i>Poucholles</i>)..... | 258 |
| Rayons cathodiques et anodiques. Emission et tubes électroniques. — Comparaison des processus d'ionisation qui donnent naissance à des courants dans les gaz (<i>E.-W.-B. Gill</i>)..... | 7 | Appareil destiné à l'étude des vibrations produites dans les édifices (<i>P. Prache</i>)..... | 968 |
| L'émission de lumière et l'ionisation produite par le bombardement électronique dans l'hélium pur et impur (<i>F. Horton et A.-C. Davier</i>)..... | 742 | Formulaire des centraux, par <i>J. Braive</i> (Bibliographie) | 42 |
| Remarques sur l'ionisation par action cumulative (<i>K.-T. Compton</i>) | 388 | Statique et dynamique, par <i>H. Béghin</i> (Bibliographie) | 839 |
| Sur un type d'hystérésis des oscillations dans un générateur simple à trois électrodes (<i>E.-V. Appleton et B. van der Pol</i>)..... | 190 | Chaleur. — Pratique de la pyrométrie (<i>P.-D. Foote, C.-O. Fairchild et T.-R. Harrison</i>)..... | 933 |
| L'amplification des faibles courants alternatifs (<i>H. Barkhausen</i>) | 270 | Note pratique sur le calcul de l'élévation de température d'après la variation de résistance (<i>Paul Girault</i>) | 963 |
| La valve thermoionique comme génératrice d'oscillations entretenues modulées..... | 190 | Emission. — L'étude des lois du corps noir (<i>L. Brillouin</i>) | 116 |
| Dispositif à impédance négative (<i>Marius Latour</i>)..... | 61 | Température-couleur et éclat de diverses sources lumineuses (<i>Eduard-P. Hyde et W.-E. Forysthe</i>).. | 534 |
| Deux nouveaux dispositifs à résistance négative employés en radiotélégraphie, le négatron et le biotron (<i>J. Scott-Taggart</i>) | 61 | Chimie. — Les principes de l'analyse chimique, par <i>Victor Auger</i> (Bibliographie)..... | 378 |
| | | Divers. — Nouvelle pompe moléculaire (<i>Holweck</i>).. | 674 |

Applications techniques et industrielles

GENERALITES

Statistique. — Résumé des travaux des Commissions techniques en 1921 (*Union des Syndicats de l'Electricité*)

343

Organisation. Exploitation. — Mise en régie et échéance-procédure. Articles 25 et 26 du cahier des charges-type (*Paul Bougault*).....
Trois termes mal compris : régie, mise en régie, régie intéressée (*Paul Bougault*).....

973

763

Unification. Normalisation. — Remarques sur la normalisation des tensions électriques des réseaux de transmission et de distribution d'énergie par courant alternatif (*Ch. Lavanchy*).....

926

Au sujet de l'unification des hautes tensions en Suisse (*Wyssling*)

168

Unification du gros appareillage (*Union des Syndicats de l'Electricité*)

943

Sur l'unification du matériel électrique (*J. Mathivet*).....

894

Unification des moteurs de traction (*Union des Syndicats de l'Electricité*).....
Projet de normalisation des éléments de la construction mécanique (*Commission permanente de Standardisation*)

344

714

A propos du projet de normalisation des éléments de la construction mécanique (*E. Brylinski*).....

769

ENERGIE NATURELLE. PRODUCTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

Energie hydraulique. — GÉNÉRALITÉS. — Sur l'utilisation des marées (Cycle Maire, Cycle Claude, Cycle Etat, Cycle Defour) (*A. Defour*).....

313

Sur les régimes hydrauliques (*Camichel*).....

5

A propos de la méthode de calcul de N.-R. Gibson pour la mesure des débits d'eau.....

217

Réponse à l'article : « Discussion théorique de la méthode de mesure des débits de N.-R. Gibson » (*Karl-I. Karlsson*)

233

A propos de la mesure des débits d'eau par les surpressions résultant d'une fermeture (*Comte de Sparre*)

237

Les caractères essentiels de la sécheresse des années 1920-1921, en France

417

La sécheresse des années 1920-1921 dans la région des Alpes et le Sud-Est de la France (*A. Tarrade*).....

669

Sur les conséquences de la sécheresse de 1921 sur l'exécution des contrats de fourniture d'énergie hydroélectrique

727

Note sur la spécification dans les contrats du régime hydraulique d'une chute d'eau (*Louis Aussedat*).....

111

Forces hydrauliques, moteurs hydrauliques, par *E. Garnier* (Bibliographie)

74

Cours d'hydraulique industrielle, par *A. Routin* (Bibliographie)

882

AMÉNAGEMENTS. — L'aménagement de l'Aar supérieur d'après le projet des Bernische Kraftwerke.....

99

Considérations théoriques sur le problème de la construction des galeries sous pression (*L. Mühlhofer*).....

800

Le Congrès de l'aménagement hydraulique du Sud-Ouest

945

MOTEURS. — Les essais au frein des turbines Kaplan de l'installation d'essais de turbines à la maison Storek, de Brunn (*J. Slarich* et *P. Walther*).....

876

Turbines hydrauliques de 12 500 chevaux.....

17

MONOGRAPHIES. DESCRIPTIONS. — Les installations hydrauliques de l'usine génératrice de Beaumont-Montoux (*J. Reyval*).....

781

Les installations hydrauliques de l'usine génératrice de la Loue (*J. Reyval*).....

691

Energie thermique. — GÉNÉRALITÉS. — Sur la fixation de la valeur marchande des charbons en fonction de leur capacité productive d'énergie électrique (*J. Mathivet*).....

1

Les combustibles liquides et leurs applications, par le *Syndicat d'Applications industrielles des Combustibles liquides* (Bibliographie).....

339

AMÉNAGEMENTS. — Les grandes unités des chaufferies modernes. La chaudière Ladd-Belleville (*C. Radi-guer*)

897

La production et l'utilisation de la vapeur (*W. Kammerer*)

162

Réchauffage et production d'eau d'alimentation par la vapeur d'échappement des turbines auxiliaires (*Brown, Boveri et Cie*).....

31

MOTEURS. — Progrès réalisés récemment dans la construction du moteur léger à explosion (*Charles Faroux*)

450

Etudes des pertes par frottement dans les moteurs à combustion interne (*André Planiol*).....

890

Les applications du moteur Diesel dans la marine de commerce et leurs conséquences au point de vue de l'industrie électrique (*Yves Le Gallou*).....

535

Sur la propulsion des navires par moteurs Diesel, génératrices et moteurs électriques (*Marcel de Coninck*)

641

La détermination de la hauteur des aubes des turbines à vapeur (*Harold Medway Martin*).....

632

Sur les turbines à gaz et à pétrole (*Jules Deschamps*).....

241

CONSTRUCTION DU MATERIEL ELECTRIQUE

Généralités. — L'art et le fer (*E. Brandt*).....

298

Travail des métaux, par *Jacques Michel* (Bibliographie)

642

Cours de dessin industriel, par *A. Druot* et *J.-L. Loubignac* (Bibliographie).....

562

Matières premières. — Auto-corrosion de la fonte de fer et de divers métaux dans les sols alcalins (*W. Nelson Smith*)

621

La fonte, élaboration et travail, par *Jean Rouelle* (Bibliographie)

178

Utilisation de la force thermoélectrique de contact pour identifier quelques aciers (*Galibourg*).....

842

Matériel de construction. Outillage. — Etude des calibres industriels au moyen des interférences lumineuses (*A. Pérard*).....

506

Tableaux des tolérances, pénalités et primes à admettre pour la fourniture du matériel électrique (*Union des Syndicats de l'Electricité*).....

343

Projet de normalisation et dimensions des éléments de la construction mécanique (*Commission permanente de Standardisation*).....

714

A propos du projet de normalisation des éléments de la construction mécanique (*E. Brylinski*).....

769

Sur l'équilibrage des pièces tournantes (*C. Fêru* et *J. Labouret*)

919

Note sur les qualités générales des divers paliers de

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| transmissions, avantages des paliers à billes (<i>H. Bursic</i>) | 792 |
| Les matériaux de constructions mécaniques et aéronautiques, par <i>Ed. Marcotte</i> et <i>E. Bereharc</i> (Bibliographie) | 450 |
| Manuel pratique de l'ouvrier électricien mécanicien, par <i>Ernst Schulz</i> (Bibliographie) | 378 |

Usines et ateliers. — Toitures supportées par des fermes de suspension isostatiques en câbles, pour hangars, ateliers, docks, etc. (*Lrinckugel, Le Cocq*) 561

PRODUCTION ET DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Production. — MACHINES GÉNÉRATRICES. — Théorie de la dynamo à trois balais (<i>J. Bethenod</i>) | 521 |
| Les enroulements d'induits des machines à courant continu (<i>H.-E. Dance</i>) | 673 |
| La commutation dans les machines à courant continu (<i>Claudius Shenfer</i>) | 286 |
| La détermination des pertes des machines électriques par la méthode d'amortissement (<i>H. Cotton</i>) | 836 |
| Essai d'une théorie synthétique des machines électriques (<i>L. Genkin</i>) | 683, 733 |
| Compensateur de phase à excitation shunt (<i>Arthur Scherbius</i>) | 33 |
| Note sur une méthode d'essais en courant dévatté pour la détermination des coefficients de la méthode de <i>Potier</i> (<i>G. Sentenac</i>) | 813 |
| Alternateurs de 9 000 kv.-A; description et courbes caractéristiques | 18 |
| Un régulateur de tension automatique (<i>F.-G.-H. Lewis</i>) | 430 |
| Note pratique sur le calcul de l'élévation de température d'après la variation de résistance (<i>Paul Girault</i>) | 963 |
| Règles complémentaires d'unification concernant les machines électriques (<i>Union des Syndicats de l'Electricité</i>) | 343 |
| L'apprenti électricien; générateurs, par <i>G. Néré</i> (Bibliographie) | 730 |
| Transformation. — Surtensions dans les transformateurs (<i>P. Bunet</i>) | 682 |
| Détermination de la capacité propre des transformateurs (<i>Goldstein</i>) | 366 |
| La capacité effective, la self-induction et la résistance des bobines (<i>Howe</i>) | 874 |
| Sur l'harmonique 3 des transformateurs triphasés (<i>Pol. Marchand et de Pistoye</i>) | 589 |
| Propagation des ondes dans les transformateurs (<i>H. Massing</i>) | 82, 310 |
| Pertes à vide des transformateurs (<i>Union des Syndicats de l'Electricité</i>) | 343 |
| Procédé graphique pour le calcul de l'entrefer le plus favorable dans les bobines de réactance à fer saturé (<i>C. Fleischmann</i>) | 102 |
| A propos d'abaques pour le calcul des garanties des transformateurs (<i>L. Dubar</i>) | 628 |
| Les transformateurs de mesure: leur emploi, leur construction (<i>F. Candia</i>) | 193 |
| Remarques sur la détermination des transformateurs spéciaux de relais pour interrupteur (<i>R. Mayeur</i>) .. | 611 |
| Multiplicateur statique de fréquence pour l'obtention industrielle de très hautes fréquences en télégraphie sans fil (<i>Marius Latour</i>) | 961 |
| Transformateur d'essais à 350 000 volts (<i>R. Massot et P. Bunet</i>) | 752 |
| Transformateurs de 9.000 kv.-A pour 6.000, 9.500, 110 000 et 125 000 volts | 20 |
| Pour le transport par voie ferrée des transformateurs à bain d'huile | 145 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Les redresseurs à vapeur de mercure avec considération particulière du courant inverse (<i>Charles Jotte</i>) .. | 322 |
| Calcul des redresseurs à vapeur de mercure pour courant triphasé; prédétermination des courbes de l'intensité et de la tension (<i>Hans Nielsen</i>) | 456 |
| L'élève électricien; transformateurs, par <i>G. Néré</i> (Bibliographie) | 730 |
| Transmission. Distribution. — GÉNÉRALITÉS. — La transmission d'énergie Seira-Barcelone de la Société catalane du Gaz et de l'Electricité, à Barcelone (<i>J. Reyral</i>) | 11 |
| Détermination des grandeurs caractéristiques des circuits parcourus par des courants alternatifs à l'aide d'une méthode semi-analytique, semi-géométrique (<i>Fr. Matalis</i>) | 272 |
| Au sujet de l'unification des hautes tensions en Suisse (<i>Wysling</i>) | 168 |
| Remarques sur la normalisation des tensions électriques des réseaux de transmission et de distribution d'énergie par courant alternatif triphasé (<i>Ch. Lavanchy</i>) | 926 |
| Sur la mise à la terre du neutre d'une ligne ou d'un réseau triphasé (<i>M. Kachlin</i>) | 666 |
| Sur la mise à la terre du neutre d'un réseau triphasé (<i>Ch. Ledoux</i>) | 809 |
| Au sujet de la question de la mise à la terre du fil neutre (<i>B. Szapiro</i>) | 906 |
| Essais sous 280 000 v sur la « Big Creek Transmission Line » (<i>J.-C. Wood</i>) | 759 |
| Les courts-circuits et les incendies | 729 |
| Les travaux de la Conférence des grands Réseaux de Transport d'Énergie électrique à très haute Tension. Schémas de tableaux de distributions pour écoles d'apprentissage | 449 |
| Album de plans de pose pour l'installation de la force par l'électricité, par <i>H. de Graffigny</i> (Bibliographie) | 406 |
| La question des amortissements et le fisc principalement au point de vue des concessions de distribution (<i>Paul Bougault</i>) | 682 |
| L'enregistrement des concessions municipales de distribution d'énergie (<i>Paul Bougault</i>) | 515 |
| Le droit du concessionnaire de se faire rembourser les branchements extérieurs. Arrêt de la Chambre des Requêtes, 8 mars 1922 (<i>Paul Bougault</i>) | 107 |
| Au sujet de la proposition de loi Néron concernant les distributions d'énergie électrique | 635 |
| Pénalités prévues par le cahier des charges des distributions communales. Le cautionnement. Articles 30 et 31 du cahier des charges (<i>Paul Bougault</i>) | 559 |
| Conseils pratiques pour la rédaction du cahier des charges des distributions communales. Cahier des charges-type du 28 juin 1921, article 27 (<i>Paul Bougault</i>) | 137 |
| Circulaire du 14 mai 1922 concernant les nouveaux tarifs des indemnités à payer par les concessionnaires de distribution d'énergie électrique aux Compagnies de chemins de fer pour traversée ou emprunt des voies ferrées par les canalisations électriques | 37 |
| Décret du 25 mars 1922 instituant une Commission interministérielle chargée d'établir un programme de la distribution de l'énergie électrique dans les campagnes | 943 |
| Sur les rapports entre les concessionnaires des lignes à haute tension et les groupements agricoles des régions traversées par ces lignes | 600 |
| Sur les dépenses engagées pendant la guerre par le Ministère des Travaux publics pour assurer la distribution de l'énergie électrique | 845 |
| Cahier des charges-type pour la concession d'une distribution publique d'énergie électrique par une commune ou un syndicat de communes (<i>Errata</i>) .. | 680 |
| | 768 |

| | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| LIGNES, CANALISATIONS, CONDUCTEURS. — Remarque sur l'amarrage rationnel des lignes de transmission d'énergie à très haute tension (P. Pairard)..... | 867 | des isolateurs suspendus de différents modèles (Paul Testard) | 393 |
| Sur la représentation graphique des tensions des conducteurs des transmissions d'énergie en fonction des portées (H. Carpentier)..... | 883 | Comparaison entre les types principaux d'isolateurs à suspension d'après les conclusions récentes de la technique (W. Weicker)..... | 592 |
| Note sur les calculs mécaniques des lignes aériennes de transmission d'énergie électrique. Calcul des conducteurs (A. Joitel)..... | 949 | Essais d'isolateurs soumis à des tensions de haute fréquence (Fritz Grunenwald)..... | 840 |
| Sur le calcul des lignes à haute tension au moyen d'abaques universels (A. Blondel)..... | 145 | Nouvel isolateur à haute tension. Isolateur « Elpery » (L. Perrin et E. Piernet)..... | 716 |
| Abaques auxiliaires pour le calcul des lignes (Ulfilas Meyer) | 615 | Nouveau type d'isolateur à suspension (Schcid)..... | 249 |
| Note sur la détermination par un abaque à alignement des conducteurs nécessaires à l'alimentation des moteurs asynchrones triphasés (R. Bouchilloux)..... | 915 | Isolateurs d'entrée de ligne du type condensateur... .. | 582 |
| Canalisations (Union des Syndicats de l'Electricité). Tensions de service maxima admissibles dans les câbles (Charles-W. Davis et Donald M. Simons) | 509 | Cahier des charges pour la fourniture des isolateurs en porcelaine et en verre (Union des Syndicats de l'Electricité) | 344 |
| Contribution à l'étude de la répartition de la tension sur les chaînes d'isolateurs. Dispositif pour l'amélioration de cette répartition (G. Viel)..... | 273 | Cahier des charges pour la fourniture des isolateurs à cloche en porcelaine ou en verre établi par l'Union des Syndicats de l'Electricité..... | 362 |
| Chute de tension dans les lignes triphasées basse tension (système en étoile avec fil neutre) (J. Godin). | 43 | Les disjoncteurs à rupture rapide et la protection contre amorçages d'arcs au collecteur des machines électriques. — Oscillogrammes d'essai (Caudie) | 743 |
| Variations de tension dues aux inégalités de charge des phases d'un réseau triphasé basse tension avec fil neutre (A. Barraud)..... | 811 | Note sur la mesure des vitesses de rupture dans les interrupteurs à huile (G. Longue)..... | 359 |
| A propos des chutes de tension dans les réseaux triphasés non équilibrés, basse tension, avec fil neutre (L.-G. Stokvis)..... | 881 | Chronographe Joly adapté à la mesure de la vitesse de rupture des interrupteurs..... | 746 |
| Sur les diagrammes circulaires des systèmes triphasés déséquilibrés et la définition de leur degré de déséquilibre (L.-G. Stokvis)..... | 957 | Interrupteur à bain d'huile de 130 000 v..... | 30 |
| Caractéristiques de transmission des câbles sous-marins (J.-R. Carson et J.-J. Gilbert)..... | 661 | Prise de courant sur lignes aériennes, système J. Estrade | 124 |
| Détérioration des câbles par les courants vagabonds (C. Michalke)..... | 550 | Les « poteaux noirs » et les lignes agricoles de la Société méridionale de Transport..... | 123 |
| Sur les détériorations des canalisations métalliques souterraines (Maurice Gutières)..... | 663 | Description et avantages des pieds indestructibles pour poteaux en bois (De Traz)..... | 682 |
| Auto-corrosion de la fonte de fer et de divers métaux dans les sols alcalins (W. Nelson Smith)..... | 621 | Poteaux jumelés de la ligne Mouthier-Pontarlier, à 60 000 v..... | 707 |
| Perfectionnements aux dispositifs d'imprégnation des câbles électriques isolés au papier (Gustave Risler)..... | 441 | INSTALLATIONS EXTÉRIEURES. — Technique des installations électriques pour lumière et force. Première partie, par Emilio Piazzoli (Bibliographie)..... | 948 |
| Essais d'échauffement des câbles..... | 325 | Stations centrales. Sous-stations. Réseaux. — Stations centrales, postes de transformation et lignes de transmission de force, par V. Nectur (Bibliographie) | 338 |
| Mesure de l'isolement d'un réseau en activité (C. Dufrené) | 451 | L'exportation de l'énergie électrique (O. Ganquillet). | 64 |
| Procédé pratique pour la localisation du point de rupture d'un câble triphasé (L. Lewin)..... | 308 | Étude des réseaux de jonction à haute tension (Union des Syndicats de l'Electricité)..... | 344 |
| Protection des réseaux à courants alternatifs par les systèmes sélectifs automatiques Ferranti (Paul Testard) | 235 | Note sur la marche en parallèle de plusieurs usines de puissance différente (J. Mathivet)..... | 203 |
| Un nouveau système de protection contre les surintensités (C. Feldmann et M. Hochstädter)..... | 468 | L'interconnexion des petites usines électriques en vue de la meilleure utilisation des chutes d'eau (Alfred Soulier)..... | 202 |
| Protection différentiel Merz-Price..... | 235 | L'intercommunication entre centrales (Marius Latour) | 218 |
| Protection Ferranti-Fieldes et Ferranti-Waters pour câbles armés triphasés ou diphasés et pour feeders en parallèle | 237 | L'interconnexion des stations centrales (L. Romero et J.-B. Palmer) | 326 |
| Nouveau dispositif de protection d'un réseau à haute tension en cas de communication avec la terre de l'un des conducteurs (Max Reithoffer)..... | 761 | Note sur les usines hydroélectriques de la poudrerie de Pont-de-Buis (J. Reyval)..... | 55 |
| APPAREILLAGE. — Propriétés et caractéristiques des matériaux isolants (R.-C. Fleming)..... | 553 | L'usine électrochimique de Lannemezan (Waterman)..... | 579 |
| Les grands problèmes actuels de l'appareillage électrique, les appareils à très haute tension, les isolateurs suspendus, les disjoncteurs ultra-rapides, les disjoncteurs sélecteurs (Vedovelli)..... | 73 | L'usine génératrice hydroélectrique de la Loue, à Mouthier (J. Reyval) | 691 |
| Revue des méthodes employées pour la recherche des isolateurs défectueux sur une ligne en service (W. Weicker) | 63 | L'usine hydroélectrique de Beaumont-Monteux. Description générale des installations (J. Reyval)..... | 781 |
| Quelques coefficients de sécurité pratiques au sujet | | Usine hydroélectrique de Beaumont-Monteux. Les installations électriques de l'usine (Jacques Sucti). | 817 |
| | | La première station génératrice à 220 000 v..... | 207 |
| | | Poste aérien de transformation pour machines agricoles | 931 |
| | | Compte rendu du Congrès du cos p de l'Union des Usines d'Electricité allemandes (Matthias)..... | 508 |
| | | Considérations sur la mesure de la puissance réactive des réseaux électriques (J. Yernaure)..... | 851 |
| | | Un curieux cas d'électrocution (A. Turpain)..... | 864 |
| | | Les tarifications nouvelles et la compensation de la | |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| puissance réactive par l'emploi des condensateurs statiques (<i>M. Misserey</i>)..... | 497 |
| Tarification de l'énergie électrique (<i>F.-W.-C. Pailey</i>)..... | 472 |
| Note sur les tarifs de vente de l'énergie électrique (<i>Maurice Koechlin</i>) | 623 |
| Sur la réglementation des tarifs de vente de l'énergie électrique | 880 |
| Arrêt du 1 ^{er} février 1922 de la Cour de Cassation concernant l'application des relèvements des tarifs de vente de l'énergie électrique | 599 |
| Jugement du 23 novembre 1921 du Tribunal de Commerce de la Seine concernant la résiliation d'un contrat d'avant-guerre de fourniture d'énergie électrique | 520 |
| Sur l'interprétation des mots « interruption non justifiée » dans les contrats de concession..... | 335 |
| Mise en Régie et déchéance-procédure. Articles 25 et 26 du Cahier des charges-type (<i>Paul Bougault</i>).... | 973 |
| Décret-loi du 1 ^{er} décembre 1921 autorisant les préfets du Royaume d'Italie à prendre des mesures propres à diminuer la consommation d'énergie électrique et à augmenter la production à l'aide d'installations thermiques | 141 |
| Arrêté du 30 décembre 1921 réglementant l'écoulement de l'eau des réservoirs et limitant la production journalière des usines de Lombardie..... | 142 |
| Arrêté fédéral concernant l'approvisionnement de la Suisse en énergie électrique..... | 144 |
| La sécheresse des années 1920-1921 et les restrictions d'énergie électrique (<i>R. de Rham</i>)..... | 140 |
| La sécheresse des années 1920-1921 dans la région des Alpes et le Sud-Est de la France (<i>A. Tarrade</i>).... | 669 |
| Sur les conséquences de la sécheresse en 1921 sur l'exécution des contrats de fourniture d'énergie hydroélectrique | 727 |

APPLICATIONS MECANIQUES

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Moteurs. — Conceptions physiques du fonctionnement du moteur asynchrone (<i>J. Lebovici</i>).... | 402 |
| Essai d'une théorie générale des diagrammes vectoriels en électricité (<i>Léon Ots-Chevalier</i>). 563, 603, Erratum | 643 |
| Le diagramme du groupe moteur asynchrone-moteur à collecteur en cascade (<i>Richard Langlois</i>)..... | 848 |
| Sur la prédétermination du facteur de puissance des moteurs asynchrones polyphasés (<i>Léon Ots-Chevalier</i>) | 523 |
| Au sujet des démarreurs électriques pour moteurs à explosion (<i>M. Digeon</i>)..... | 771 |
| Les moteurs électriques de très petite puissance (<i>W.-J. John</i>) | 128 |
| Les moteurs synchrones auto-démarrateurs (<i>M. Lecocq</i>) | 721 |
| Essai d'un moteur synchrone, démarrant en asynchrone et à fort couple de démarrage (<i>Johann Ge- wecke</i>) | 51 |
| Moteurs à collecteur à vitesse variable (<i>R.-A. Jones</i>)..... | 282 |
| Note sur la détermination par un abaque à alignement des conducteurs nécessaires à l'alimentation des moteurs, asynchrones triphasés (<i>R. Bouchil- loux</i>) | 132 |
| Quelques notes sur l'établissement des rhéostats liquides (<i>W. Wilson</i>) | 915 |
| Le coffret de manœuvre, appareil industriel. — Coffret de manœuvre « Charles Maier », coffret C.E. M., coffret Nauroy, coffret « Metropolitan Vi- ckers » (<i>J.-Paul Guy</i>)..... | 871 |
| | 278 |
| Electroaimants. — Calcul des électroaimants à courant continu (<i>Eugène Gabor</i>)..... | 442 |
| Agriculture. — La Semaine d'Electromotoculture d'Ondes (<i>Ach. Delamarre</i>)..... | 929 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Applications de l'électricité à l'agriculture (<i>Union des Syndicats de l'Electricité</i>)..... | 343 |
| Le treuil J. Estrade pour labourage électrique..... | 122 |
| Le nouveau matériel J. Estrade à la Semaine d'Elec- tromotoculture d'Ondes (<i>Ach. Delamarre</i>)..... | 121 |
| Le prix de revient du labourage (<i>Ach. Delamarre</i>)... | 389 |
| L'agonie du tracteur agricole (<i>Ach. Delamarre</i>)..... | 790 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Marine. — Les applications du moteur Diesel dans la marine de commerce et leurs conséquences au point de vue de l'industrie électrique (<i>Yves Le Gallou</i>) | 535 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Signalisation. — Sur la commande à distance d'appareils au moyen de signaux émis par les centrales électriques (<i>A. Turpain</i>)..... | 2 |
| Description et fonctionnement du système « train despatching » de la Western Electric Company (<i>H. Florant</i>) | 431 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Divers. — Moto-pompes pour usages domestiques et industriels (<i>Brown, Boveri et Cie</i>)..... | 130 |
| Au sujet des démarreurs électriques pour moteurs à explosion (<i>M. Digeon</i>)..... | 128 |

TRACTION ET LOCOMOTION

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Généralités. — Recherches sur les courants vagabonds et sur l'électrolyse produite par ces courants (<i>James Chappuis et Hubert-Desprez</i>)..... | 3 |
| Sur la détérioration des canalisations métalliques souterraines (<i>Maurice Guttières</i>)..... | 663 |
| Détérioration des câbles par les courants vagabonds (<i>C. Michalke</i>)..... | 550 |
| Unification des moteurs de traction (<i>Union des Syn- dicats de l'Electricité</i>) | 344 |
| La traction électrique aux Etats-Unis, par <i>Marcel Japiot et A. Ferrand</i> (Bibliographie)..... | 73 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Matériel roulant. — Essais faits en 1907 par la Pennsylvania Railroad sur des locomotives électriques. Locomotives monophasées B.B.C. à marchandises pour les Chemins de fer des Etats prussiens et bava- rois (<i>Société Brown, Boveri et Cie</i>)..... | 907 |
| Système de commande multiple pour véhicules élec- triques (<i>Brown, Boveri et Cie</i>)..... | 760 |
| | 244 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Installations. — Application de la traction élec- trique par courant monophasé sur le réseau de la Compagnie des Chemins de fer de la Camargue (<i>J. Raynal</i>)..... | 351 |
| Application des dispositifs et matériel électrique mo- derne sur le réseau des tramways Beaucourtois (<i>René van Muyden</i>)..... | 965 |
| La traction monophasée en Suisse (<i>E. Huber</i>)..... | 131 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Propulsion électrique des navires. — La propulsion électrique des navires (<i>W.-E. Thau</i>)..... | 205 |
| Sur la propulsion des navires par moteurs Diesel, génératrices et moteurs électriques (<i>Marcel de Co- ninck</i>) | 641 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Divers. — L'utilisation du combustible sur les che- mins de fer (<i>Commission d'Utilisation du Combus- tible</i>) | 868 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

TELEGRAPHIE ET TELEPHONIE

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Généralités. — Les Annales des Postes, Télégra- phes et Téléphones (Bibliographie)..... | 74 |
| Télégraphie. — Appareils et installations télégra- phiques, par <i>E. Montoriol</i> (Bibliographie)..... | 418 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Téléphonie. — Lignes étalon pour les mesures relatives aux effets d'induction provoqués par les courants téléphoniques dans une canalisation à circuits multiples (<i>K. Küpfmüller</i>)..... | 739 |
| Projet de loi concernant le régime téléphonique..... | 216 |
| Proposition de loi du 4 novembre 1921 sur la cession du service téléphonique à une société privée..... | 679 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Radiotélégraphie. — Les phénomènes radiotélégraphiques (<i>I.-L. Dellinger</i> et <i>L.-E. Whitemare</i>).... | 797 |
| Sur les progrès de la télégraphie sans fil (<i>Henri Deslandres</i>) | 9 |
| La transmission à longue distance en télégraphie sans fil (<i>G. Malmgren</i>) | 483 |
| Le système Alexanderson pour les communications radiotélégraphiques à grande distance | 547 |
| Multiplicateur statique de fréquence pour l'obtention industrielle de très hautes fréquences en télégraphie sans fil (<i>Marius Latour</i>)..... | 961 |
| Sur une nouvelle méthode d'émission doublant le rendement des stations de télégraphie sans fil (<i>Henri Abraham</i> et <i>René Planiol</i>)..... | 970 |
| Deux nouveaux dispositifs à résistance négative employés en radiotélégraphie, le négatron et le biotron (<i>J. Scott-Taggart</i>)..... | 61 |
| Amortissement des oscillations des résonateurs de télégraphie sans fil (<i>de Belluscize</i>)..... | 959 |
| La réception des ondes entretenues sans lampes (<i>P.-W. Harris</i>) | 740 |
| Etude sur la résistance des antennes d'émission (<i>T.-L. Eckersley</i>) | 617 |
| Le Comité technique interallié de Radiotélégraphie (<i>G. Malmgren</i>)..... | 147 |
| Sur la réglementation de la radiotélégraphie à bord des navires de commerce | 72 |
| La théorie et la pratique des radiocommunications, par <i>Léon Bouthillon</i> (Bibliographie) | 914 |
| La télégraphie sans fil des amateurs, par <i>Franck Du-roquier</i> (Bibliographie) | 377 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Radiotéléphonie. — Le fonctionnement du tube modulateur en radiotéléphonie (<i>E.-S. Purington</i>)..... | 630 |
| La valve thermo-ionique comme génératrice d'oscillations entretenues modulées..... | 270 |
| Sur la réception des ondes entretenues par modulation (<i>R. Jouaust</i>)..... | 82 |

APPLICATIONS THERMIQUES

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Chauffage. — Applications de l'électricité au chauffage (<i>Union des Syndicats de l'Electricité</i>)..... | 343 |
| Les fours électriques et l'électrometallurgie d'après les brevets récents (<i>L. Juma</i>)..... | 463 |
| Détermination à priori, par le calcul, des pertes de chaleur dans les fours électriques (<i>L. Fanrich</i>).... | 674 |
| Perfectionnements apportés au réglage de la puissance absorbée dans les fours électriques (<i>C.-C. Gow</i>) | 438 |
| Fours électrothermiques à induction (<i>C.-B. Foley</i>).. | 436 |
| Four électrique d'analyses (<i>E.-M. Chopin</i>)..... | 437 |
| Four électrique (<i>C.-F. Greiner</i>)..... | 437 |
| Four électrique pour la métallurgie (<i>E. Piquerez</i>).... | 439 |
| Four électrique (<i>M. Bruguilles</i>)..... | 439 |
| Four électrique (<i>E. Laquesse</i>)..... | 440 |
| Four électrique oscillant (<i>Société métallurgique du Frayol</i>) | 441 |
| Four électrique avec canal de coulée (<i>Diego de Luca</i>).. | 465 |
| Four électrique pour le traitement des gaz (<i>E. Mack</i>).. | 466 |
| Four électrique pour réactions endothermiques sur les gaz (<i>E. Leleu</i>)..... | 467 |
| Four électrique à résistance (<i>J. Lallement</i>)..... | 438 |
| Fours électriques à courant polyphasé (<i>Société Armour Fertilizer works</i>)..... | 438 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Perfectionnements apportés aux fours électriques à arc (<i>J. Bibby</i>)..... | 439 |
| Dispositif pour l'introduction d'air dans les fours électriques à flammes en forme de disque (<i>Société Norsk hydro-elektrisk Kaelstofaktieselskab</i>)..... | 467 |
| Perfectionnements aux fours à arcs électriques (<i>Société Norsk hydro-elektrisk Kaelstofaktieselskab</i> .. | 467 |
| Perfectionnements aux fours électriques (<i>L.-A.-Y. Ferron</i>) | 437 |
| Perfectionnements aux fours électriques (<i>W.-E. Moore</i>) | 437 |
| Perfectionnements aux fours électriques (<i>Société The Morgan Crucible Company</i>)..... | 438 |
| Perfectionnements relatifs aux fours électriques (<i>A. Eimer</i>) | 439 |
| Perfectionnements relatifs aux fours électriques (<i>E.-L. Smolley</i>) | 439 |
| Perfectionnements aux fours électriques à arc (<i>Max-R. Trembour</i>) | 439 |
| Perfectionnements aux fours électriques (<i>D.-F. Campbell</i>) | 440 |
| Perfectionnements aux fours électriques (<i>Booth Electric Furnace Co</i>)..... | 441 |
| Electrode de four électrique (<i>Société Elektrochemische Werke G. m. b. H.</i>)..... | 463 |
| Electrodes pour fours électriques (<i>C. Marcellof</i>)..... | 463 |
| Matériel d'électrode pour four électrique (<i>O.-R. Olsen</i>) | 463 |
| Perfectionnements aux portes de fours électriques (<i>Booth Electric Furnace Co</i>)..... | 441 |
| Résistance pour four électrique (<i>E. Piquerez</i>)..... | 439 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Soudure. — Perfectionnements apportés à la soudure autogène des métaux par l'arc électrique (<i>M.-F. Chastang</i> , <i>A. Lauvergeon</i> et <i>J.-M. Pradair</i>).. | 468 |
| Electrode pour le soudage à l'arc électrique et son procédé de fabrication (<i>Société Wilson Welder and Metals Company</i>)..... | 468 |

ECLAIRAGE

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Eclairage par arc. — Au sujet des lampes à arc à éclat intrinsèque élevé (<i>Georg Gehlhoff</i>)..... | 170 |
| L'arc électrique (<i>Maurice Leblanc</i>)..... | 298 |
| Observations manométriques aux pôles de l'arc électrique (<i>M.-E.-G. Beer</i> et <i>A.-M. Tyndall</i>)..... | 474 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Eclairage par incandescence. — Equations simples relatives au fonctionnement des lampes (<i>H.-E. Eisenmenger</i>) | 777 |
| Nouveau mode de construction des lampes à incandescence de très grande intensité lumineuse (<i>Hol-heck</i>) | 722 |
| Cahier des charges pour la fourniture des lampes électriques à incandescence à filament métallique dans le vide (<i>Union des Syndicats de l'Electricité</i>).... | 343 |
| Un récent arrêt de la Chambre des Lords au sujet de la lampe à incandescence à atmosphère gazeuse (<i>F. Pausert</i>) | 805 |

ELECTROCHIMIE ET ELECTROMETALLURGIE

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Généralités. — Progrès récents en électrochimie d'après les brevets | 92 |
| Les métallurgies électrolytiques et leurs applications, par <i>Albert Levasseur</i> (Bibliographie)..... | 42 |
| Electrochimie. — L'usine électrochimique de Lannemezan (<i>Waternaux</i>)..... | 579 |
| Méthode d'électrolyse avec production d'un courant inutilisable à l'extérieur (<i>E. Slatineanu</i>)..... | 97 |
| Appareil d'électrolyse (<i>C.-M. Walter</i>)..... | 97 |

| | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Perfectionnements aux éléments électrolytiques (J.-H. Lécroix) | 97 | Perfectionnements dans la fabrication de l'acier électrique (F. Stobie)..... | 464 |
| Procédé et appareil pour l'électrolyse d'électrolytes fondus (Norsk hydro-elektrisk Kvælstofaktieselskab) | 96 | Procédé de fabrication d'acier électrique (John-Mc Connell) | 465 |
| Perfectionnements aux appareils électrolytiques employés à l'affûtage des limes, râpes et autres outils (G.-M. Debias) | 98 | Perfectionnements aux fours électriques pour la fabrication de l'acier (A.-P. Heyen)..... | 465 |
| Nouvelle disposition relative aux bains électrolytiques (G. Charbonneau) | 93 | Four électro-convertisseur et procédé de traitement s'y rapportant pour la fabrication des aciers ordinaires et spéciaux (P.-F. Sarron)..... | 463 |
| Procédé permettant l'utilisation des cuves électrolytiques pour produire à volonté du chlore ou des chlorates (P. Bunet et H. Barnard)..... | 93 | Perfectionnements aux fours électriques pour obtenir l'acier ou les alliages spéciaux (A.-M. Teixeira)... | 464 |
| Perfectionnements aux cuves électrolytiques (H.-C. Jenkins) | 93 | Procédé et appareil permettant d'obtenir directement et économiquement au four électrique un ferro-nickel riche, de teneur pratiquement constante (Société électrométallurgique française)..... | 464 |
| Nouveau dispositif d'électrodes pour cuve électrolytique (G. Charbonneau) | 93 | | |
| Perfectionnements aux piles électrolytiques (C.-W. Marsh) | 92 | MESURES ET ESSAIS | |
| Procédé et appareil pour l'électrolyse de l'eau (A. Piraino de Corradi)..... | 97 | Généralités. — Unification des appareils de mesure, transformateurs de mesure shunts (Union des Syndicats de l'Electricité)..... | 343 |
| Procédé pour l'électrolyse de solutions aqueuses (Société Norsk hydro-elektrisk Kvælstofaktieselskab) | 97 | Considérations sur la mesure de la puissance réactive des réseaux électriques (J. Yernaux)..... | 851 |
| Procédé d'électrolyse aqueuse et appareil à force centrifuge pour électrolyses aqueuses (H. Debaughe).... | 94 | Sur la nature des grandeurs et le choix d'un système d'unités électriques (P. Langerin)..... | 259 |
| Perfectionnements à la fabrication électrolytique du chlore (P. Bunet et H. Barnard)..... | 94 | Sur les unités de mesure électrique (P. Langerin)... | 338 |
| Procédé et appareil pour la décomposition électrolytique des chlorures (B. Cataldi)..... | 95 | Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique (A. Ilievici)..... | 264 |
| Appareil électrochimique pour la production directe de solutions d'hypochlorites par électrolyse de solutions de chlorures (P. Pestalozza)..... | 95 | Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction. Réponse à M. Ilievici (E. Brylinski)..... | 384 |
| Procédé de fabrication des oxydes d'azote par l'arc électrique (Société F. Gros et Bouchardy)..... | 467 | Sur l'identité de nature du champ magnétique et de l'induction magnétique (A. Abraham)..... | 268 |
| L'arc électrique dans l'industrie chimique. L'acide nitrique et les nitrates (A. Clarke)..... | 757 | Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? (H. Abraham, D. Berthelot, E. Brylinski, Hadamard, Liénard et Pomey) 116, 177, 268, 426, 461, 494 | |
| Perfectionnement au procédé de récupération des oxydes d'azote produits par l'arc électrique dans un mélange d'azote et d'oxygène secs (P.-A. Guye)..... | 466 | | |
| Procédé de récupération des vapeurs nitreuses diluées dans un mélange de gaz inertes secs (P.-A. Guye)..... | 467 | Mesures électriques. — Amperemètre électrodynamique à shunts, boîte de contrôle électrodynamique et électrodynamomètre à shunts (Louis Joly)..... | 882 |
| Procédé de galvanisation basé sur l'application d'un tissu métallique pour servir de cathode (E. Benvenuto) | 97 | Sur le galvanomètre balistique (H. Chaumat)..... | 115 |
| Procédé d'application directe, par voie électrolytique, des métaux précieux sur fer, fonte, acier (sans interposition de cuivre) donnant des objets résistant au feu (600°) (P.-E.-L. Pinart)..... | 97 | Sur l'application du galvanomètre balistique aux essais de fer (H. Chaumat)..... | 155 |
| Nouvelle composition pour durcir et rendre inabsorbants les corps poreux tels que le plâtre, le staff, etc., etc., en vue de les utiliser directement ou de les recouvrir de dépôts galvaniques par électrolyse (A. Wolf) | 97 | La mesure d'intervalles de temps très courts par la méthode de charge d'un condensateur (J.-J. Downing et D. Donnelly)..... | 690 |
| Procédé électrolytique pour décaper le fer et l'acier (Q. MARINO)..... | 97 | Électroscope à charge automatique (Holweck)..... | 534 |
| Appareil électrolytique pour l'oxydation du mercure The Shawinigan Water and Company)..... | 98 | Ohmmètres et capacimètres à courant alternatif à lecture directe (R. Barthélemy)..... | 801 |
| Procédé électrolytique de transformation du manganate en permanganate et appareil électrolyseur qui s'y rapporte (A.-L.-E. Grégy)..... | 98 | Sur un potentiomètre à déviation (Ilievici)..... | 338 |
| Perfectionnements à la récupération du zinc par l'électrolyse (Electrolytic zinc Co of Australasia Proprietary Ltd)..... | 97 | Un potentiomètre à courant alternatif par tube à vide (E.-C. Wente) | 634 |
| Perfectionnements au traitement des minerais zincifères pour la récupération du zinc par l'électrolyse (Electrolytic zinc Co of Australasia Proprietary Ltd) | 96 | Henrymètre à lecture directe (R. Barthélemy)..... | 419 |
| Appareil pour la production par électrolyse du zinc, du cuivre ou autres métaux (Société de Métallurgie électrolytique) | 95 | Erratum | 514 |
| | | Remarques sur la théorie de l'oscillographe (J. Meyer) | 232 |
| | | Appareil permettant la détermination exacte de la fréquence au moyen d'une méthode de zéro (Edy Vaulander) | 365 |
| | | Sur un nouveau wattmètre à lecture directe (H. Chaumat) | 592 |
| | | Sur l'emploi du wattmètre en courants alternatifs dans le cas de très faibles facteurs de puissance (H. Chaumat)..... | 774 |
| | | Etalonnage des compteurs au lieu même de l'utilisation (W. Janvier)..... | 159 |
| | | Etalonnage des compteurs en régime variable (G. Palanchon) | 834 |
| | | Les transformateurs de mesure: leur emploi, leur construction (V. Candie)..... | 193 |
| Electrometallurgie. — Perfectionnements à la production du fer au four électrique (G.-J. Stock)... | 465 | | |
| Procédé de fabrication directe de l'acier au four électrique (R. Gilson) | 464 | | |

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Essais électriques. — Un laboratoire d'essais à 500 000 volts (<i>H. de Raemy</i>)..... | 861 | Divers. — Appareil pour la dissociation rapide des images dans la cinématographie par étincelles électriques (<i>L. Bull</i>)..... | 908 |
| Transformateur d'essais à 350 000 volts (<i>R. Massot et P. Bunet</i>) | 752 | Pratique de la pyrométrie (<i>P.-D. Foote, C.-O. Fairchild et T.-R. Harrison</i>)..... | 933 |
| Essais divers à 1 000 000 volts (<i>F.-W. Peck</i>)..... | 720 | Appareil destiné à l'étude des vibrations produites dans les édifices (<i>P. Frache</i>)..... | 968 |
| Note sur une méthode d'essais en courant dévatté pour la détermination des coefficients de la méthode de Potier (<i>G. Sentenac</i>)..... | 813 | La mesure d'intervalles de temps très courts par la méthode de charge d'un condensateur (<i>J.-J. Dowling et D. Donnelly</i>)..... | 690 |
| Sur la mesure des isoléments par la méthode dite d'accumulation (<i>H. Chaumat</i>)..... | 309 | Chronographe électrique enregistreur, en chiffres, le temps au centième de seconde (<i>Henri Chrétien et Paul Ditisheim</i>) | 907 |
| Mesure de l'isolement d'un réseau en activité (<i>C. Dufrène</i>) | 451 | Notes sur la mesure des vitesses de rupture dans les interrupteurs à huile (<i>G. Longue</i>)..... | 359 |
| Essais sous 280 000 v sur la « Big Creek Transmission Line » (<i>J.-C. Wood</i>)..... | 759 | Chronographe Joly de la Maison Carpentier..... | 746 |
| Essais d'isolateurs soumis à des tensions de haute fréquence (<i>Fritz Grünwald</i>)..... | 840 | Etude des pertes par frottements dans le moteur à combustion interne (<i>André Planiol</i>)..... | 890 |
| Essais faits en 1907 par la Pennsylvania Railroad sur des locomotives électriques | 907 | Appareils d'essais d'huile et filtre-presse..... | 589 |
| Un curieux cas d'électrocution (<i>A. Turpain</i>)..... | 864 | Appareil d'essai d'huile | 829 |
| Les essais au frein des turbines Kaplan de l'installation d'essais de turbines de la maison Storek, de Brünn (<i>J. Slavick et P. Walther</i>)..... | 876 | | |

Economie sociale, industrielle, financière, etc.

GENERALITES

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Les grands travaux : la percée des Vosges. — Le Congrès de Colmar (<i>Fernand-Jacq</i>)..... | 65 | La fraude, la sinistrose et les médecins marrons dans les accidents du travail, par <i>Edmond de Giscard</i> (Bibliographie) | 377 |
| Le Comptoir central d'Achats industriels pour les régions envahies | 133 | Loi du 18 avril 1922 fixant, pour une nouvelle période de 5 ans, le taux des contributions au fonds de garantie des exploitants non patentés, en matière d'accidents du travail..... | 846 |
| Loi du 6 mai 1922 modifiant l'article 14 de la loi du 18 décembre 1915, sur les sociétés coopératives ouvrières de production et le crédit au travail en France | 912 | Jugement du Tribunal civil de Douai relatif au calcul des pensions aux victimes d'accidents du travail recevant des allocations familiales..... | 944 |
| Arrêt du 14 février 1922 de la Cour de Cassation concernant le compromis d'arbitrage..... | 599 | Décret du 22 décembre 1921 apportant une dérogation au décret du 9 septembre 1905, relatif aux caisses de secours contre le chômage involontaire | 72 |
| Arrêt du 16 février 1921 de la Cour de Cassation concernant la recevabilité d'une requête civile..... | 599 | Jugement du 3 novembre 1921 du Tribunal civil de la Seine, concernant la rupture brusque du contrat par l'employeur | 256 |
| Loi du 14 mars 1922 abrogeant l'avance de l'heure en été | 479 | Jugement du 2 décembre 1921 du Tribunal de Paix de Carmaux concernant le droit des Syndicats professionnels de représenter leurs adhérents..... | 519 |

RICHESSSES NATURELLES, PROPRIETE

| | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Propriété immobilière et mobilière. — Les actions distribuées gratuitement doivent-elles être considérées comme un capital ou comme un revenu?.. | 879 | COMMERCE | |
| Arrêt du 8 février 1922 de la Cour de Cassation concernant la servitude de passage..... | 599 | Les Echos, revue commerciale française hebdomadaire (Bibliographie) | 146 |
| Propriété industrielle. — Le prix Jean Barès en faveur des inventeurs | 850 | Etudes d'organisation commerciale, par <i>J. Wilbois</i> (Bibliographie) | 482 |
| Les modifications apportées depuis la guerre à la législation sur la propriété industrielle (<i>Fernand-Jacq</i>) | 173 | Précis d'organisation comptable. — Commerce, par <i>Léon Gagnepain</i> (Bibliographie)..... | 482 |
| Le droit de suite des inventeurs (<i>Fernand-Jacq</i>)..... | 213 | Importations et exportations françaises du matériel électrique, produits électrometallurgiques et électrochimiques (<i>Désiré Pector</i>)..... | 209, 475, 937 |
| Un office de liaison entre inventeurs et industriels (<i>Fernand-Jacq</i>) | 597 | Les possibilités offertes par l'Espagne à l'expansion économique de la France (<i>Angel Marvaud</i>)..... | 114 |
| Sur la propriété d'une invention faite par un membre du personnel d'une entreprise industrielle (<i>Max Turmann</i>)..... | 723 | Sur la possibilité d'exportation en Espagne du petit matériel électrique à usages domestiques (<i>Ch. Ledoux</i>) | 297 |
| Le nom commercial (<i>Fernand-Jacq</i>)..... | 415 | Sur les personnes ayant droit à la carte d'identité des voyageurs et représentants de commerce..... | 728 |
| La concurrence déloyale (<i>Fernand-Jacq</i>)..... | 333 | Les méfaits du règlement transactionnel (<i>Fernand-Jacq</i>) | 69 |
| Un récent arrêt de la Chambre des Lords au sujet de la lampe électrique à incandescence à atmosphère gazeuse (<i>T. Pausert</i>)..... | 805 | Loi du 28 avril 1922 modifiant la loi du 2 juillet 1919 instituant le règlement transactionnel..... | 911 |
| | | Arrêt du 17 décembre 1921 de la Cour d'Appel de Paris concernant le règlement transactionnel..... | 295 |
| | | Loi du 8 février 1922 ayant pour objet la modifica- | |

TRAVAIL, TRAVAILLEURS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Le choix d'un métier et les aptitudes physiques, par <i>Julien Fontègne</i> (Bibliographie)..... | 378 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

tion de certains articles du Code de Commerce concernant la lettre de change et le billet à ordre. 447

FINANCES

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| La nouvelle loi de finances, exigibilité des impôts, date des réclamations, modifications (Paul Bougault) | 373 |
| La question des amortissements et le fisc principalement au point de vue des concessions de distribution (Paul Bougault) | 515 |
| Le privilège du Trésor sur les immeubles pour la récupération des taxes sur les bénéfices de guerre (Fernand-Jacq) | 639 |
| Les prescriptions au profit du Trésor (Fernand-Jacq) | 801 |
| Les actions distribuées gratuitement doivent-elles être considérées comme un capital ou comme un revenu? | 879 |
| Sur l'enregistrement des actes sous-seings privés concernant les engagements entre des sociétés et leur personnel | 768 |
| Proposition de résolution tendant à la révision du système fiscal | 845 |
| Arrêt du 27 décembre 1921 de la Cour de Cassation concernant le taux du change dans les règlements de comptes | 519 |
| Jugement du 24 janvier 1922 du Tribunal de la Seine concernant la nature de la monnaie et le taux du change dans les règlements de comptes | 520 |
| Arrêt du 8 décembre 1921 de la Cour d'Appel de Paris concernant le paiement des chèques | 256 |
| Une politique financière, par A. Fastout (Bibliographie) | 178 |

IMPOTS, DOUANES, ASSURANCES

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Les impôts en vigueur pour 1922 (Fernand-Jacq) | 253 |
| Sur l'application de l'impôt de 10 pour 100 sur les intérêts des créances | 847 |
| Sur l'assujettissement au droit de timbre des lettres de voiture | 112 |
| Sur l'application de la loi sur les impôts cédulaires suivant la nature des revenus | 71 |
| Sur l'assujettissement au droit de timbre des accusés de réception de chèques | 72 |
| Le droit de timbre sur les accusés de réception de chèques | 216 |
| Sur l'assujettissement au droit de timbre des accusés de réception de chèques | 335 |
| Sur l'évaluation des impôts concernant le matériel et les immeubles industriels | 376 |
| Sur le timbrage des pouvoirs de représentation aux assemblées générales | 600 |
| Sur l'application de l'impôt général sur le revenu | 71 |
| Sur l'application de l'impôt sur le revenu | 480 |
| Sur l'application de l'impôt global sur le revenu | 520 |
| Sur l'impossibilité d'admettre les titres des emprunts de guerre comme moyens de paiement des impôts sur les revenus | 846 |
| Sur l'assujettissement à l'impôt sur le revenu des réserves des sociétés en commandite simple ou en nom collectif | 976 |
| Sur l'application des impôts sur les revenus; détaxe pour diminution de revenus des assujettis taxés d'office | 728 |
| Sur la déclaration concernant l'impôt sur les traitements et salaires | 880 |
| Sur le recouvrement de l'impôt sur les salaires par les patrons | 336 |
| Sur la déclaration des salaires par les patrons en vue de la perception de l'impôt | 480 |
| Sur la perception de l'impôt sur les salaires par les patrons | 680 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Circulaire concernant le recouvrement de l'impôt sur les salaires par les patrons | 912 |
| Sur le recouvrement par l'intermédiaire des patrons de l'impôt sur les traitements des employés | 944 |
| Sur l'application de la taxe sur le chiffre d'affaires | 296 |
| Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires | 479 |
| Sur l'exonération de l'impôt sur le chiffre d'affaires des frais et honoraires d'expertises | 768 |
| Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires, travaux antérieurs au 1 ^{er} juillet 1920, travaux en régie | 846 |
| Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux et de l'impôt sur le chiffre d'affaires aux Sociétés coopératives | 848 |
| Sur l'application de l'impôt sur le revenu aux coopératives de reconstruction | 479 |
| Sur l'application de l'impôt général sur le revenu au montant des actions distribuées gratuitement | 728 |
| Sur l'application de l'impôt sur les revenus des valeurs et capitaux mobiliers aux intérêts des dépôts des associés d'une société en nom collectif | 880 |
| Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux aux sociétés en commandite | 71 |
| Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux aux représentants de commerce | 296 |
| Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux | 727 |
| Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux | 600 |
| Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux: détaxe pour diminution du bénéfice imposable | 847 |
| Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires aux affaires traitées en participation | 911 |
| Le Conseil d'Etat et l'impôt sur les bénéfices de guerre. — Aperçu d'ensemble sur les décisions rendues (Paul Bougault) | 291 |
| Sur l'application de la contribution sur les bénéfices de guerre | 296 |
| Sur l'application de la contribution sur les bénéfices de guerre | 336 |
| Sur l'application de la loi sur les bénéfices de guerre | 447 |
| Sur l'application de la loi sur les bénéfices de guerre aux sociétés françaises associées à des sociétés étrangères | 479 |
| Sur l'application de la loi sur les bénéfices de guerre | 480 |
| Sur l'application de la contribution sur les bénéfices de guerre; détaxes pour exercices déficitaires | 848 |
| Sur l'application de la loi sur la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre | 847 |
| Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices commerciaux des assujettis à la contribution sur les bénéfices de guerre | 336 |
| Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices de guerre et de l'impôt sur les bénéfices commerciaux | 911 |
| Loi du 12 avril 1922 relative au mode de calcul de l'impôt sur les chemins de fer d'intérêt général et les voies ferrées d'intérêt local | 679 |
| Circulaire du 12 avril 1922 indiquant le mode de calcul de l'impôt sur les chemins de fer d'intérêt général et les voies ferrées d'intérêt local | 680 |
| Sur l'application de l'impôt sur les camions automobiles | 216 |
| Sur l'application de la taxe sur les automobiles, suivant que celles-ci appartiennent à une société anonyme ou à ses directeurs ou administrateurs | 846 |
| Sur l'établissement de la taxe sur les automobiles à usage commercial | 944 |
| Jugement du Tribunal civil de Rouen concernant la taxe sur les importations | 943 |
| Le mécanisme des assurances sociales. Projet de loi du 22 mars 1921 (Fernand-Jacq) | 675 |

ENSEIGNEMENT, EDUCATION, APPRENTISSAGE

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Rôle de l'Ecole pratique et des cours professionnels dans les industries électriques (<i>E. Labbé</i>) .. 367, | 405 |
| L'enseignement industriel en Algérie (<i>Georges Bureau</i>) | 877 |
| Les Chambres de Métiers (<i>Georges Rissler</i>)..... | 171 |

Législation, Réglementation, Jurisprudence

GENERALITES

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Les modifications apportées depuis la guerre à la législation sur la propriété industrielle (<i>Fernand-Jacq</i>) | 173 |
| Le droit de suite des inventeurs (<i>Fernand-Jacq</i>)..... | 213 |
| Au sujet de la proposition de loi Néron concernant les distributions d'énergie électrique..... | 559 |
| Cahier des charges-type pour la concession d'une distribution d'énergie électrique par une commune ou un syndicat de communes (<i>Errata</i>)..... | 768 |

LOIS, DECRETS, ARRETES

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Lois et projets de lois. — Loi du 8 février 1922 ayant pour objet la modification de certains articles du Code de Commerce concernant la lettre de change et le billet à ordre..... | 447 |
| Loi du 14 mars 1922 abrogeant l'avance de l'heure en été | 479 |
| Loi du 12 avril 1922 relative au mode de calcul de l'impôt sur les chemins de fer d'intérêt général et les voies ferrées d'intérêt local | 679 |
| Loi du 18 avril 1922 fixant, pour une nouvelle période de 5 ans, le taux des contributions au fonds de garantie des exploitants non patentés en matière d'accidents du travail..... | 846 |
| Loi du 28 avril 1922 modifiant la loi du 2 juillet 1919 instituant le règlement transactionnel..... | 911 |
| Loi du 6 mai 1922 modifiant l'article 14 de la loi du 18 décembre 1915, sur les sociétés coopératives ouvrières de production et le crédit au travail en France | 912 |
| Projet de loi du 22 mars 1921 sur les assurances sociales (<i>Paul Bouquault</i>)..... | 675 |
| Projet de loi concernant le régime téléphonique.... | 216 |
| Proposition de loi du 4 novembre 1921 sur la cession du service téléphonique à une société privée..... | 679 |
| Proposition de résolution tendant à la révision du système fiscal | 845 |
| Décrets. — Décret-loi du 1 ^{er} décembre 1921 autorisant les préfets du Royaume d'Italie à prendre des mesures propres à diminuer la consommation d'énergie électrique et à augmenter la production à l'aide d'installations thermiques | 141 |
| Décret du 22 décembre 1921 apportant une dérogation au décret du 9 septembre 1905 relatif aux caisses de secours contre le chômage involontaire.... | 72 |
| Décret du 18 février 1922 modifiant le décret du 7 février 1907, fixant la composition du Comité permanent d'Electricité..... | 447 |
| Décret du 25 mars 1922 instituant une Commission interministérielle chargée d'établir un programme de la distribution de l'énergie électrique dans les campagnes | 600 |
| Arrêtés. — Arrêté du 30 décembre 1921 réglementant l'écoulement de l'eau des réservoirs et limitant la production journalière des usines (<i>Lombardie</i>). | 142 |
| Arrêté fédéral concernant l'approvisionnement de la Suisse en énergie électrique | 144 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Circulaires. Avis. — Circulaire du 12 avril 1922 indiquant le mode de calcul de l'impôt sur les chemins de fer d'intérêt général et les voies ferrées d'intérêt local | 680 |
| Circulaire du 14 mai 1922 concernant les nouveaux tarifs des indemnités à payer par les concessionnaires de distribution d'énergie électrique aux compagnies de chemins de fer pour traversée ou emprunt des voies ferrées par les canalisations électriques | 943 |
| Circulaire concernant le recouvrement de l'impôt sur les salaires par les patrons | 912 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Questions et Réponses (Chambre et Sénat). — Sur la réglementation des tarifs de vente de l'énergie électrique | 880 |
| Sur l'enregistrement des actes sous-seings privés concernant les engagements entre des sociétés et leur personnel | 768 |
| Sur les personnes ayant droit à la carte d'identité des voyageurs et représentants de commerce..... | 728 |
| Sur les rapports entre les concessionnaires des lignes à haute tension et les groupements agricoles des régions traversées par ces lignes..... | 845 |
| Sur les dépenses engagées pendant la guerre par le Ministère des Travaux publics pour assurer la distribution de l'énergie électrique | 680 |
| Sur la réglementation de la radiotélégraphie à bord des navires de commerce | 72 |
| Sur l'application de l'impôt de 10 p. 100 sur les intérêts des créances | 847 |
| Sur l'assujettissement au droit de timbre des lettres de voiture | 112 |
| Sur l'assujettissement au droit de timbre des accusés de réception de chèques | 72 |
| Le droit de timbre sur les accusés de réception de chèques | 216 |
| Sur l'assujettissement au droit de timbre des accusés de réception de chèques | 335 |
| Sur l'évaluation des impôts concernant le matériel et les immeubles industriels | 376 |
| Sur le timbrage des pouvoirs de représentation aux assemblées générales | 600 |
| Sur l'application de l'impôt général sur le revenu. .. | 71 |
| Sur l'application de l'impôt sur le revenu..... | 480 |
| Sur l'application de l'impôt global sur le revenu.... | 520 |
| Sur l'impossibilité d'admettre les titres des emprunts de guerre comme moyens de paiement des impôts sur les revenus | 846 |
| Sur l'assujettissement à l'impôt sur le revenu des réserves des sociétés en commandite simple ou en collectif | 976 |
| Sur l'application des impôts sur les revenus: détaxe pour diminution de revenus des assujettis taxés d'office | 728 |
| Sur la déclaration concernant l'impôt sur les traitements et salaires | 880 |
| Sur le recouvrement de l'impôt sur les salaires par les patrons | 336 |
| Sur la déclaration des salaires par les patrons en vue de la perception de l'impôt | 480 |
| Sur la perception de l'impôt sur les salaires par les patrons | 680 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Sur le recouvrement par l'intermédiaire des patrons de l'impôt sur les traitements des employés..... | 944 |
| Sur l'application de l'impôt général sur le revenu au montant des actions distribuées gratuitement. | 728 |
| Sur l'application de la loi sur les impôts cédulaires suivant la nature des revenus..... | 71 |
| Sur l'application de l'impôt sur les revenus des valeurs et capitaux mobiliers aux intérêts des dépôts des associés d'une société en nom collectif..... | 880 |
| Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires. | 479 |
| Sur l'application de la taxe sur le chiffre d'affaires.. | 296 |
| Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux | 600 |
| Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires, des frais et honoraires d'expertises..... | 768 |
| Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires, travaux antérieurs au 1 ^{er} juillet 1920, travaux en régie | 846 |
| Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux et de l'impôt sur le chiffre d'affaires aux sociétés coopératives..... | 848 |
| Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires aux sociétés coopératives..... | 447 |
| Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires aux sociétés coopératives..... | 447 |
| Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux aux sociétés en commandite..... | 71 |
| Sur l'application de l'impôt sur le revenu aux coopératives de reconstruction | 479 |
| Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux aux représentants de commerce..... | 296 |
| Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux | 727 |
| Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux: détaxe pour diminution du bénéfice imposé | 847 |
| Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires aux affaires traitées en participation..... | 911 |
| Sur l'application de la contribution sur les bénéfices de guerre | 296 |
| Sur l'application de la contribution sur les bénéfices de guerre..... | 336 |
| Sur l'application de la loi sur les bénéfices de guerre. | 447 |
| Sur l'application de la loi sur les bénéfices de guerre. | 480 |
| Sur l'application de la contribution sur les bénéfices de guerre: détaxes pour exercices déficitaires.... | 848 |
| Sur l'application de la loi sur la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre..... | 847 |
| Sur l'application de la loi sur les bénéfices de guerre aux sociétés françaises associées à des sociétés étrangères | 479 |
| Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices commer- | |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ciaux des assujettis à la contribution sur les bénéfices de guerre..... | 336 |
| Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices de guerre et de l'impôt sur les bénéfices commerciaux..... | 911 |
| Sur l'application de l'impôt sur les camions automobiles | 216 |
| Sur l'application de la taxe sur les automobiles suivant que celle-ci appartiennent à une société anonyme ou à ses directeurs ou administrateurs..... | 846 |
| Sur l'établissement de la taxe sur les automobiles à usage commercial | 944 |

JURISPRUDENCE

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Arrêt du 16 février 1921 de la Cour de Cassation concernant la recevabilité d'une requête civile..... | 599 |
| Arrêt du 8 décembre 1921 de la Cour d'Appel de Paris concernant le paiement des chèques..... | 256 |
| Arrêt du 17 décembre 1921 de la Cour d'Appel de Paris concernant le règlement transactionnel..... | 295 |
| Arrêt du 27 décembre 1921 de la Cour de Cassation concernant le taux du change dans les règlements de comptes | 519 |
| Arrêt du 1 ^{er} février 1922 de la Cour de Cassation concernant l'application des relèvements des tarifs de vente de l'énergie électrique..... | 599 |
| Arrêt du 8 février 1922 de la Cour de Cassation concernant la servitude de passage..... | 599 |
| Arrêt du 14 février 1922 de la Cour de Cassation concernant le compromis d'arbitrage..... | 599 |
| Arrêt du 8 mars 1922 de la Chambre des Requêtes à propos du droit du concessionnaire de se faire rembourser les branchements extérieurs..... | 635 |
| Jugement du 3 novembre 1921 du Tribunal civil de la Seine concernant la rupture brusque du contrat par l'employeur | 256 |
| Jugement du 23 novembre 1921 du Tribunal de Commerce de la Seine concernant la résiliation d'un contrat d'avant-guerre de fourniture d'énergie électrique | 520 |
| Jugement du 2 décembre 1921 du Tribunal de Paix de Carmaux concernant le droit des syndicats professionnels de représenter leurs adhérents..... | 519 |
| Jugement du 24 janvier 1922 du Tribunal de la Seine concernant la nature de la monnaie et le taux du change dans les règlements de comptes..... | 520 |
| Jugement du Tribunal civil de Rouen concernant la taxe sur les importations..... | 943 |
| Jugement du Tribunal civil de Douai relatif au calcul des pensions aux victimes d'accidents du travail recevant des allocations familiales..... | 944 |

Divers

SOCIÉTÉS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Académie des Sciences. — Les prix de l'Académie des Sciences | 48 |
| Elections à l'Académie des Sciences: Gustave Ferrié, Maurice d'Ocagne..... | 218 |
| Election de M. Zeeman comme membre correspondant de l'Académie des Sciences..... | 2 |
| Le problème de la relativité dans les diélectriques (Carvallo) | 156 |
| Sur les tensions et pressions Maxwell dans les aimants et les diélectriques (G. Gouy)..... | 492 |
| Sur un effet électro et magnéto-optique des liquides | |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| qui tiennent des poudres métalliques en suspension (S. Procopiu)..... | 815 |
| Sur l'électrodynamique des milieux homogènes et isotropes en repos (Louis Roy)..... | 815 |
| Etude expérimentale sur les pertes d'énergie dans quelques diélectriques industriels (Augustin Frigou) | 917 |
| Utilisation de la force thermoélectrique de contact pour identifier quelques aciers (Galibourg)..... | 842 |
| Sur la synchronisation harmonique des oscillations électriques (Mercier) | 578 |
| Sur l'entretien simultané d'un circuit oscillant et de circuits harmoniques (C. Gutton)..... | 621 |

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Sur les régimes hydrauliques (<i>C. Camichel</i>)..... | 5 | Séance du 17 mars 1922. — Nouveau mode de construction des lampes à incandescence de très grande intensité lumineuse (<i>Holweck</i>)..... | 722 |
| Sur les surfaces de discontinuité (<i>C. Camichel</i>)..... | 496 | Les séances de l'exposition de Pâques de la Société française de Physique..... | 601 |
| Etudes des pertes par frottement dans les moteurs à combustion interne (<i>André Planiol</i>)..... | 890 | Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. — Les Chambres de Métiers (<i>Georges Rissler</i>).... | 171 |
| Sur les diagrammes circulaires des systèmes triphasés déséquilibrés et la définition de leur degré de déséquilibre (<i>L.-G. Stokvis</i>)..... | 957 | Appareil destiné à l'étude des vibrations produites dans les édifices (<i>P. Prache</i>)..... | 968 |
| Recherches sur les courants vagabonds et sur l'électrolyse produite par ces courants (<i>James Chappuis et Hubert-Desprez</i>) | 3 | Séance du 10 décembre 1921. — Les possibilités offertes par l'Espagne à l'expansion économique de la France (<i>Angel Marraud</i>)..... | 114 |
| Amortissements des oscillations des résonateurs de télégraphie sans fil (<i>de Bellescize</i>)..... | 959 | Séance du 28 janvier 1922. — L'enregistreur Gueugnon (<i>Poucholle</i>) | 258 |
| Sur les progrès de la télégraphie sans fil (<i>Henri Deslandres</i>) | 9 | Séance du 11 mars 1922. — Progrès réalisés récemment dans la construction du moteur léger à explosion (<i>Charles Faroux</i>)..... | 450 |
| Sur une nouvelle méthode d'émission doublant le rendement des stations de télégraphie sans fil (<i>Henri Abraham et René Planiol</i>)..... | 970 | Séance du 25 mars 1922. — Toitures supportées par des fermes de suspension isostatiques en câbles pour hangars, ateliers, docks, etc. (<i>Leinekugel, Le Cocq</i>) | 561 |
| Sur la réception des ondes entretenues par modulation (<i>R. Jouaust</i>)..... | 82 | Commission permanente de Standardisation. — Projet de normalisation des dimensions des éléments de la construction mécanique..... | 714 |
| Sur le galvanomètre balistique (<i>H. Chaumat</i>)..... | 115 | Commission d'Utilisation du Combustible. — L'utilisation du combustible sur les chemins de fer..... | 868 |
| Sur l'application du galvanomètre balistique aux essais de fer (<i>H. Chaumat</i>)..... | 155 | Cinquième rapport de la Commission d'Utilisation du Combustible. — La production et l'utilisation de la vapeur..... | 83, 162 |
| Sur un nouveau wattmètre à lecture directe (<i>H. Chaumat</i>) | 592 | Comité permanent d'Electricité. — Décret du 8 février 1922 modifiant le décret du 7 février 1907 fixant la composition du Comité permanent d'Electricité | 447 |
| Sur la mesure des isollements par la méthode dite d'accumulation (<i>H. Chaumat</i>)..... | 309 | Comité technique interallié de Radiotélégraphie. — Compte rendu de la réunion du 21 juin au 22 août 1921 (<i>J. Malgorn</i>)..... | 147 |
| Appareil pour la dissociation rapide des images dans la cinématographie par étincelles électriques (<i>L. Bull</i>) | 908 | Société des Amis de la Télégraphie sans fil. — Fondation et réunion de la Société..... | 1, 74 |
| Chronographie électrique enregistrant, en chiffres, le temps au centième de seconde (<i>Henri Chrétien et Paul Ditisheim</i>)..... | 907 | Société française des Electriciens. — Séance du 4 janvier 1922. — Les grands problèmes actuels de l'appareillage électrique, les appareils à très haute tension, les isolateurs suspendus, les disjoncteurs ultra-rapides, les disjoncteurs sélecteurs (<i>Vedovelli</i>) | 73 |
| Société de Chimie Physique. — La constitution de l'atome (<i>E. Bauer</i>)..... | 299 | Séance du 1 ^{er} février 1922. — L'intercommunication entre centrales (<i>Marius Latour</i>)..... | 218 |
| Société française de Physique. — Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? 116, 177, 268, 426, 461, 494 | | Séance du 1 ^{er} mars 1922. — Sur un potentiomètre à déviation (<i>Iliovici</i>)..... | 338 |
| Séance du 18 novembre 1921. — Action de la chaleur et de la lumière sur la conductibilité de certains sulfures (<i>P. Vaillant</i>)..... | 269 | Sur les unités de mesure électriques (<i>P. Langerin</i>)... | 338 |
| Sur le potentiel explosif des gaz aux pressions élevées (<i>Ch.-Eug. Guye</i>)..... | 118 | Séance du 5 avril 1922. — Assemblée générale annuelle. — Théorie de la dynamo à trois balais (<i>J. Bethenod</i>) | 521 |
| Séance du 16 décembre 1921. — Sur les actions mutuelles de courants et d'aimants plongés dans un milieu magnétique illimité (<i>H. Chipart</i>)..... | 191 | Séance du 3 mai 1922. — Description et avantages des pieds indestructibles pour poteaux en bois (<i>De Traz</i>) | 682 |
| Séance du 20 janvier 1922. — Note sur la relation entre la constante diélectrique, la perméabilité magnétique et la vitesse de lumière (<i>Brylinski</i>)... | 232 | Surtensions dans les transformateurs (<i>P. Bunet</i>).... | 682 |
| Sur la nature des grandeurs et le choix d'un système d'unités électriques (<i>P. Langerin</i>)..... | 259 | Séance du 7 juin 1922. — Ampèremètre électrodynamique à shunts, boîte de contrôle électrodynamique et électrodynamètre à shunts (<i>Louis Joly</i>)..... | 882 |
| Séance du 10 février 1922. — Sur l'identité de nature du champ magnétique et de l'induction magnétique (<i>Henri Abraham</i>)..... | 268 | Les théories électriques de la matière (<i>Marcel Brillouin</i>) | 882 |
| Etude des calibres industriels au moyen des interférences lumineuses (<i>A. Pérard</i>)..... | 506 | Association Suisse des Electriciens. — Au sujet de l'unification des hautes tensions en Suisse (<i>Wysling</i>) | 168 |
| Séance du 17 mars 1922. — Electroscope à charge automatique (<i>Holweck</i>)..... | 534 | | |
| Nouvelle pompe moléculaire (<i>Holweck</i>)..... | 674 | | |
| Séance du 20 avril 1922. — La désintégration artificielle des éléments (<i>E. Rutherford</i>)..... | 601 | | |
| Section de Strasbourg. — Séance du 16 décembre 1921. — Sur la dynamique de la relativité (<i>P. Langerin</i>) | 158 | | |
| Démonstration des discontinuités de l'aimantation par les amplificateurs et les téléphones (<i>P. Weiss et G. Ribaud</i>)..... | 270 | | |
| Séance du 20 janvier 1922. — Remarques sur la théorie de l'oscillographe (<i>J. Meyer</i>)..... | 232 | | |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Calcul des électroaimants à courant continu (<i>Eugène Gabor</i>) | 442 |
| Détermination de la capacité propre des transformateurs (<i>Goldstein</i>) | 366 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Institution of Electrical Engineers. — Propriétés et caractéristiques des matériaux isolants (<i>R.-C. Fleming</i>) | 553 |
| Les enroulements d'induits des machines à courant continu (<i>H.-E. Dance</i>) | 673 |
| La capacité effective, la self-induction et la résistance des bobines (<i>Howe</i>) | 874 |
| L'interconnexion des stations centrales (<i>L. Romero et J.-B. Palmer</i>) | 326 |
| Quelques notes sur l'établissements des rhéostats liquides (<i>W. Wilson</i>) | 871 |
| Etude sur la résistance des antennes d'émission (<i>T.-L. Eckersley</i>) | 617 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| American Institute of electrical Engineers. — La commutation dans les machines à courant continu (<i>Claudius Shenfer</i>) | 286 |
| Tensions de service maxima admissibles dans les câbles (<i>Charles-W. Davis et Donald M. Simons</i>) | 543 |
| Tarification de l'énergie électrique (<i>F.-W.-C. Pailey</i>) | 472 |
| Conceptions physiques du fonctionnement du moteur asynchrone (<i>J. Leborici</i>) | 402 |
| La propulsion électrique des navires (<i>W.-E. Thau</i>) | 205 |
| Le magnétron (<i>A.-W. Hull</i>) | 404 |
| Equations simples relatives au fonctionnement des lampes à incandescence (<i>H.-E. Eisenmenger</i>) | 777 |
| Un potentiomètre à courant alternatif par tube à vide (<i>E.-C. Wente</i>) | 634 |
| Appareil permettant la détermination exacte de la fréquence au moyen d'une méthode de zéro (<i>Edy Velandier</i>) | 365 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Bureau of Standards. — La valve thermoionique comme génératrice d'oscillations entretenues modulées | 270 |
| Le fonctionnement du tube modulateur en radiotéléphonie (<i>E.-S. Purinton</i>) | 630 |
| Rayons X mous caractéristiques émis par l'arc éclatant dans les gaz et les vapeurs (<i>F.-L. Mohler et P.-D. Foote</i>) | 780 |

SOCIÉTÉS PROFESSIONNELLES

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Les ingénieurs et la guerre, par <i>Albert Ranc</i> (Bibliographie) | 338 |
| Syndicat des Mécaniciens, Chaudronniers et Fondateurs de France. — Annuaire pour 1922 (Bibliographie) | 770 |
| Société amicale des anciens élèves des Ecoles nationales professionnelles. — Conférence du 19 février 1922. — L'Art et le fer (<i>E. Brandt</i>) | 298 |
| Société amicale des Ingénieurs de l'Ecole supérieure d'Electricité. — Annuaire 1922 (Bibliographie) | 378 |
| Association amicale des Ingénieurs électriciens. — Assemblée générale du 24 janvier 1922 | 257 |
| Syndicat professionnel des Industries électriques. — Annuaire | 810 |
| Union des Syndicats de l'Electricité. — Rapport présenté au Comité sur l'exercice 1921. — Annexe: Résumé des travaux des Commissions techniques en 1921 | 340 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Annuaire 1922 de l'Union des Syndicats de l'Electricité | 682 |
| Cahier des charges pour la fourniture des isolateurs à cloche en porcelaine ou en verre | 362 |

SOCIÉTÉS INDUSTRIELLES, COMMERCIALES ET FINANCIÈRES

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ateliers de Constructions électriques de Delle. — Assemblée générale ordinaire du 31 mai 1922 | 972 |
| Banque française pour le Commerce et l'Industrie. — Assemblée générale ordinaire du 23 décembre 1921 | 35 |
| Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris — Assemblée générale ordinaire du 18 juillet 1921 | 329 |
| Compagnie centrale d'Energie électrique. — Assemblée générale ordinaire du 21 mars 1922. — Assemblée générale extraordinaire du 31 mars 1922 | 725 |
| Compagnie des Eaux et d'Electricité de l'Indo-Chine — Assemblée générale ordinaire du 7 décembre 1921 | 288 |
| Compagnie électrique de la Loire et du Centre. — Assemblée générale ordinaire du 23 décembre 1921 | 724 |
| Compagnie d'Electricité de Limoges (Compagnie Centrale d'Eclairage et Transport de Force par l'Electricité). — Assemblée générale ordinaire du 29 avril 1922 | 909 |
| Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris. — Assemblée générale du 16 février 1922 | 557 |
| Compagnie Générale d'Electricité. — Assemblée générale annuelle du 20 décembre 1921 | 251 |
| Compagnie lorraine de Charbons, Lampes et Appareillages électriques. — Assemblée générale ordinaire du 17 septembre 1921 | 68 |
| Electricité et Gaz du Nord. — Assemblée générale ordinaire du 19 janvier 1921 | 445 |
| Assemblée générale ordinaire du 19 janvier 1922 | 558 |
| Energie électrique de la Basse-Loire. — Assemblée générale ordinaire du 31 mars 1922 | 940 |
| Energie électrique du Sud-Ouest. — Assemblée générale extraordinaire du samedi 31 décembre 1921 | 172 |
| Assemblée générale ordinaire du 12 mai 1922 | 909 |
| Est-Lumière (Compagnie d'Electricité de l'Est-Parisien). — Assemblée générale ordinaire du 27 décembre 1921 | 331 |
| Groupeement des Compagnies d'Energie électrique et d'Eclairage du Nord et de l'Est. — Assemblée générale extraordinaire du 27 décembre 1921 | 212 |
| L'Energie Industrielle. — Assemblée générale ordinaire du 31 mars 1922 | 843 |
| Les Exploitations électriques. — Assemblée générale extraordinaire du 4 avril 1922 | 941 |
| L'Union électrique (SAINT-CLAUDE, JURA). — Assemblée générale ordinaire du 23 novembre 1921 | 513 |
| Maison Bréguet. — Assemblée générale du 28 octobre 1921 | 287 |
| Omnium Lyonnais. — Assemblée générale ordinaire du 24 novembre 1921 | 329 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Revue générale de l'Electricité. — Assemblée générale ordinaire du 13 mai 1922..... | 803 |
| Sociedad hidroelectrica Espanola. — Assemblée générale ordinaire du 24 avril 1921..... | 941 |
| Société anonyme des Forges et Aciéries du Nord et de l'Est. — Assemblée générale ordinaire du 27 octobre 1921 | 103 |
| Société avignonnaise d'Electricité. — Assemblée générale ordinaire du 12 avril 1922..... | 804 |
| Société centrale pour l'Industrie électrique. — Assemblée générale du 6 mars 1922..... | 414 |
| Société d'Applications Industrielles (Compagnie d'Entreprises électriques). — Assemblée générale ordinaire du 25 novembre 1921..... | 289 |
| Société Générale de Force et Lumières. — Assemblée générale ordinaire du 2 décembre 1921..... | 106 |
| Société des Accumulateurs électriques (Anciens Etablissements Alfred Dinin). — Assemblée générale ordinaire annuelle du 8 novembre 1921..... | 135 |
| Société d'Electricité de Caen. — Assemblée générale ordinaire du 26 mai 1922..... | 971 |
| Société d'Electricité de Paris. — Assemblée générale ordinaire du 6 décembre 1921..... | 478 |
| Société d'Electricité de la région de Valenciennes-Anzin. — Assemblée générale ordinaire du 18 mai 1922 | 972 |
| Société des Forces motrices de la Vienne. — Assemblée générale extraordinaire du 4 novembre 1921..... | 555 |
| Assemblée générale extraordinaire du 12 décembre 1921 | 556 |
| Société générale pour favoriser le développement du Commerce et de l'Industrie en France. — Assemblée générale ordinaire du 10 avril 1922.... | 638 |
| Société Industrielle des Téléphones. — Assemblée générale ordinaire du 16 décembre 1921..... | 445 |
| Société mutuelle d'Assurances. — Assemblée générale ordinaire du 4 avril 1922..... | 638 |
| Société norvégienne de l'Azote et de Forces hydro-électriques. — Assemblée générale ordinaire et extraordinaire du 26 novembre 1921..... | 35 |
| Sud-Electrique. — Assemblée générale ordinaire du 21 décembre 1921..... | 126 |
| Tréfileries et Laminoirs du Havre. — Assemblée générale ordinaire du 28 décembre 1921..... | 212 |

BIOGRAPHIES, DISTINCTIONS HONORIFIQUES, NECROLOGIE

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Divers. — Les prix de l'Académie des Sciences.... | 48 |
| Le prix Jean Barès en faveur des inventeurs..... | 850 |
| Fondation Montefiore : prix décernés..... | 41 |
| Elections à l'Académie des Sciences : Gustave Ferrié, Maurice d'Ocagne | 218 |
| Election de M. Zeemann comme membre correspondant de l'Académie des Sciences..... | 2 |
| Nécrologie. — François Brocq..... | 113 |
| Louis Parenty | 2 |

CONGRES, EXPOSITIONS, CONCOURS, CONFERENCES

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Le Congrès de l'Aménagement hydraulique du Sud-Ouest | 945 |
| Congrès des physiciens allemands, Iéna, septembre 1921 | 50 |
| Le physicien A. Einstein au Collège de France..... | 482, 522 |
| Les travaux de la Conférence des grands Réseaux de Transport d'Energie électrique à haute Tension.... | 449 |
| Les Conférences-rapports sur la Physique. — Séance du 24 janvier 1922. — L'étude des lois du corps noir (<i>Léon Brillouin</i>)..... | 146 |
| Séance du 31 janvier 1922. — Rappel général des hypothèses de quanta (<i>Léon Brillouin</i>)..... | 258 |
| Séances des 14 et 21 février 1922. — L'arc électrique (<i>Maurice Leblanc</i>)..... | 298 |
| Séance du 28 mars 1922. — La lampe à trois électrodes, l'emploi de la lampe pour l'entretien des oscillations dans un circuit électrique (<i>C. Gutton</i>)..... | 481 |
| Séance du 21 mars 1922. — La lampe à trois électrodes, les propriétés générales des audions et leur emploi en relais amplificateurs téléphoniques (<i>C. Gutton</i>) | 481 |
| Séance du 4 avril 1922. — La lampe à trois électrodes, ses applications à la télégraphie et à la téléphonie (<i>C. Gutton</i>)..... | 521 |
| Folres. — Le Groupe de l'Electricité à la Foire de Paris (<i>C. Zetter</i>)..... | 731 |

BIBLIOGRAPHIE

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ouvrages récents. — Electricité et matière, par <i>J.-J. Thomson</i> | 642 |
| La théorie de Bohr. La constitution de l'atome et la classification périodique des éléments, par <i>Edmond Bauer</i> | 339 |
| La constitution de la matière, par <i>Max Born</i> | 810 |
| Traité d'électricité théorique, par <i>Jacques Carvallo</i> | 562 |
| Cours d'Electricité et de Magnétisme. Principes d'électrotechnie, par <i>Emile Piérrard</i> | 178 |
| Cours d'électricité générale de l'Ecole navale, par <i>E. Haudré</i> | 914 |
| Traité d'électricité industrielle, par <i>Hector Péchoux</i> | 602 |
| Précis d'électricité industrielle. Les appareils à courant alternatif, par <i>Maurice Soubrier</i> | 850 |
| Problèmes et exercices d'électricité générale, par <i>Paul Janet</i> | 682 |
| Théorie sommaire de la règle à calcul, par <i>Emile Piérrard</i> | 482 |
| Statique et dynamique, par <i>H. Beghin</i> | 339 |
| Formulaire des centraux, par <i>J. Braive</i> | 42 |
| Les principes de l'analyse chimique, par <i>Victor Auger</i> | 378 |
| Forces hydrauliques. Moteurs hydrauliques, par <i>E. Garnier</i> | 74 |
| Cours d'hydraulique industrielle, par <i>A. Routin</i> | 882 |
| Les combustibles liquides et leurs applications, par le <i>Syndicat d'Applications Industrielles des Combustibles liquides</i> | 339 |
| Les matériaux de constructions mécaniques et aéronautiques, par <i>Ed. Marcotte et E. Berchard</i> | 450 |
| La fonte, élaboration et travail, par <i>Jean Rouelle</i> | 178 |
| Travail des métaux, par <i>Jacques Michel</i> | 613 |
| Manuel pratique de l'ouvrier électricien mécanicien, par <i>Ernest Schulz</i> | 378 |
| Manuel de l'électricien | 378 |
| Cours de dessin industriel, par <i>A. Druot et J.-L. Loubignac</i> | 562 |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| L'apprenti électricien; générateurs, par <i>G. Néré</i> | 730 | Les ingénieurs et la guerre, par <i>Albert Ranc</i> | 338 |
| L'élève électricien; transformateurs, par <i>G. Néré</i> ... | 730 | Le choix d'un métier et les aptitudes physiques, par <i>Julien Fontègne</i> | 378 |
| Technique des installations électriques pour lumière et force. Première partie, par <i>Emilio Piazzoli</i> | 948 | Revue, périodiques, annales. — Les Echos, revue commerciale française hebdomadaire..... | 146 |
| Album de plans de pose pour l'installation de la force par l'électricité, par <i>H. de Graffigny</i> | 682 | Agenda Dunod 1922..... | 770 |
| Problèmes élémentaires avec schémas à l'usage des écoles et cours d'enseignement technique (Elec- tricité industrielle), par <i>F. Harang</i> | 146 | Annuaire pour 1922 du Syndicat des Mécaniciens, Chaudronniers et Fondeurs de France..... | 770 |
| Stations centrales, postes de transformation et lignes de transmission de force, par <i>V. Neveux</i> | 338 | Annuaire pour 1922 de la Société amicale des Ingé- nieurs de l'Ecole Supérieure d'Electricité..... | 378 |
| La traction électrique aux Etats-Unis, par <i>Marcel Japiot et A. Ferrand</i> | 73 | Annuaire pour 1922 du Syndicat professionnel des In- dustries électriques..... | 810 |
| Appareils et installations télégraphiques, par <i>E. Mon- toriol</i> | 418 | Annuaire pour 1922 de l'Union des Syndicats de l'Electricité | 682 |
| La théorie et la pratique des radiocommunications, par <i>Léon Bouhillon</i> | 914 | Les Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones... | 74 |
| La télégraphie sans fil des amateurs, par <i>Franck Duroquier</i> | 377 | Electrical Trades Directory and Handbook for 1922. | 642 |
| Les métallurgies électrolytiques et leurs applications, par <i>Albert Lerasseur</i> | 42 | Errata de la « R.C.E. ». — Erratum du tome XI, page 345: L'expérience de Michelson et la théorie de la relativité (<i>E. Brylinski</i>)..... | 448 |
| La fraude, la sinistrose et les médecins marrons dans les accidents du travail, par <i>Edmond de Giscarde</i> . | 377 | Erratum du tome XI, p. 419; Henrymètre à lec- ture directe (<i>B. Barthélemy</i>)..... | 514 |
| Précis d'organisation comptable, t. I. Commerce, par <i>Léon Gagnepain</i> | 482 | Erratum du t. XI, p. 563: Essai d'une théorie générale des diagrammes vectoriels en électricité (<i>Léon Ots-Chevalier</i>) | 848 |
| Etudes d'organisation commerciale, par <i>J. Wilbois</i> ... | 482 | | |
| Une politique financière, par <i>A. Fastout</i> | 178 | | |

RÉPERTOIRE GÉOGRAPHIQUE

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AAR. — L'aménagement de l'Aar supérieur d'après le projet des Bernische Kraftwerke..... | 99 | LANNEMEZAN (Hautes-Pyrénées). — L'usine électro- chimique de Lannemezan (<i>Waternaux</i>)..... | 579 |
| ALGÉRIE. — L'enseignement industriel en Algérie.. | 877 | LOMBARDIE (Italie). — Arrêté du 30 décembre 1921 réglementant l'écoulement de l'eau des réservoirs et limitant la production journalière des usines. | 142 |
| BARCELONE. — La transmission d'énergie Seira-Bar- celone de la Société catalane du Gaz et de l'Elec- tricité à Barcelone (<i>J. Reygal</i>)..... | 11 | MOUTHIÉ (Doubs). — L'usine génératrice hydro- électrique de la Loue, à Mouthier (<i>J. Reygal</i>).... | 691 |
| BEAUCOURT (Haut-Rhin). — Application des dispo- sitifs et matériel électrique moderne sur le réseau des tramways Beaucourtois (<i>René van Muyden</i>). | 965 | PONT-DE-BUIS (Finistère). — Note sur les usines hy- droélectriques de la poudrerie du Pont-de-Buis (<i>J. Reygal</i>) | 55 |
| BEAUMONT-MONTEUX (Drôme). — L'usine hydroélec- trique de Beaumont-Montoux. Description géné- rale des installations (<i>J. Reygal</i>)..... | 781 | ONDES (Haute-Garonne). — Le nouveau matériel J. Estrade à la Semaine d'Electromotoculture d'Ondes (<i>Ach. Delamarre</i>) | 121 |
| ESPAGNE. — Les possibilités offertes par l'Espagne à l'expansion économique de la France..... | 114 | — La semaine d'Electromotoculture d'Ondes (<i>A. De- lamarre</i>) | 929 |
| ETATS-UNIS. — La traction électrique aux Etats- Unis, par <i>Marcel Japiot et A. Ferrand</i> (Bibliogra- phie) | 73 | SUD-OUEST. — Le Congrès de l'Aménagement hydrau- lique du Sud-Ouest | 945 |
| IÉNA. — Congrès des Physiciens allemands, Iéna 1921 | 50 | SUISSE. — Arrêté fédéral concernant l'approvisio- nement du pays en énergie électrique..... | 144 |
| ITALIE. — Décret-loi du 1 ^{er} décembre 1921 autorisant les préfets du Royaume à prendre des mesures pro- pres à diminuer la consommation d'énergie électri- que et à augmenter la production à l'aide d'ins- tallations thermiques | 141 | — Au sujet de l'unification des hautes tensions en Suisse (<i>Wyssling</i>) | 168 |
| | | — La traction monophasée en Suisse (<i>E. Huber</i>)... | 131 |
| | | VOSGES. — Les grands travaux: La percée des Vosges; Le Congrès de Colmar (<i>Fernand-Jacq</i>)..... | 65 |

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ABRAHAM (Henri). — Sur l'identité de nature du champ magnétique et de l'induction magnétique.. | 268 | BERNHARD. — Etude du champ électrique au moyen de la photographie | 119 |
| Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique | 116, 118, 494 | BERTHELOT (D.). — Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique?..... | 461 |
| ABRAHAM (Henri) et PLANIOL (René). — Sur une nouvelle méthode d'émission doublant le rendement des stations de télégraphie sans fil..... | 970 | BETHENOD (J.). — Théorie de la dynamo à trois balais | 521 |
| ALEXANDERSON (L.-F.-W.). — Système pour les communications radiotélégraphiques à grande distance. | 547 | BILBY (J.). — Perfectionnements apportés aux fours électriques à arc | 439 |
| APPLETON (E.-V.) et POL (B. van der). — Sur un type d'hystérésis des oscillations dans un générateur simple à trois électrodes..... | 388 | BLONDEL (A.). — Sur les négatrons et les calculs des lignes à haute tension | 145 |
| ASWORTH (J.-R.). — Théorie du champ intrinsèque d'un aimant et relation entre ses propriétés magnétiques et ses propriétés électriques et thermiques caractéristiques | 888 | BODIN (P.). — Les actions distribuées gratuitement doivent-elles être considérées comme un capital ou un revenu. | |
| AUGER (Victor). — Les principes de l'analyse chimique (Bibliographie) | 378 | BOOTH ELECTRIC FURNACE C°. — Perfectionnements aux fours électriques | 441 |
| AUSSEDAT (Louis). — Note sur la spécification dans les contrats du régime hydraulique d'une chute d'eau | 111 | BORN (Max). — La constitution de la matière (Bibliographie) | 810 |
| BARKHAUSEN (H.). — L'amplification des faibles courants alternatifs..... | 762 | BOUCHARDY. — Voir <i>Gros (F.)</i> et <i>Bouchardy (Société)</i> | 467 |
| BARNARD (H.). — Voir <i>Bunet (P.)</i> et <i>Barnard (H.)</i> . | 93, 94 | BOUCHILLOUX (R.). — Note sur la détermination par un abaque à alignement des conducteurs nécessaires à l'alimentation des moteurs asynchrones triphasés | 915 |
| BARRAUD (A.). — Variations de tension dues aux inégalités de charge des phases d'un réseau triphasé basse tension avec fil neutre..... | 811 | BOUGAULT (Paul). — Conseils pratiques pour la rédaction du Cahier des charges des distributions communales. Cahier des charges-type du 28 juin 1921, article 27 | 37 |
| BARY (Paul). — A propos de la « Révision de quelques lois de l'électromagnétisme | 681 | — L'enregistrement des concessions municipales de distribution d'énergie | 107 |
| BARTHÉLEMY (R.). — Henrymètre à lecture directe. | 419 | — Pénalités prévues par le Cahier des charges des distributions communales. Le cautionnement. Articles 30 et 31 du Cahier des charges..... | 137 |
| — Erratum..... | 514 | — Le Conseil d'Etat et l'impôt sur les bénéfices de guerre. Aperçu d'ensemble sur les décisions rendues | 291 |
| — Ohmmètres et capacimètres à courant alternatif à lecture directe | 891 | — La nouvelle loi de finances, exigibilité des impôts, date des réclamations, modifications..... | 373 |
| BAUER (Edmond). — La constitution de l'atome... — La théorie de Bohr. La constitution de l'atome et la classification périodique des éléments (Bibliographie) | 299, 339 | — La question des amortissements et le fisc principalement au point de vue des concessions de distribution | 515 |
| BEER (M.-E.-G.) et TYNDALL (A.-M.). — Observations manométriques aux pôles de l'arc électrique. | 474 | — Le droit du concessionnaire de se faire rembourser les branchements extérieurs. Arrêt de la Chambre des Requêtes 8 mars 1922..... | 635 |
| BEGHIN (H.). — Statique et dynamique (Bibliographie) | 339 | — Trois termes mal compris : régie, mise en régie, régie intéressée | 763 |
| BELLESCHIZE (H. de). — Amortissements des oscillations des résonateurs de télégraphie sans fil..... | 959 | — Mise en régie et déchéance procédure. Articles 25 et 26 du Cahier des charges-type..... | 973 |
| BENEVENTANI (E.). — Procédé de galvanisation basé sur l'application d'un tissu métallique pour servir de cathode | 97 | BORTHILLON (Léon). — Quelques théorèmes sur les oscillations propres des systèmes de circuits..... | 656 |
| BEREHARE (E.). — Voir <i>Marcotte (Ed.)</i> et <i>Berehare (E.)</i> | 450 | — La théorie et la pratique des radiocommunications (Bibliographie)..... | 914 |

| | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| BOYER. — Chariot d'ancrage automatique pour électromotoculture | 929 | — Les disjoncteurs à rupture rapide et la protection contre amorçages d'arcs au collecteur des machines électriques. Oscillogrammes d'essais..... | 743 |
| BRAIVE (J.). — Formulaire des centraux (Bibliographie) | 42 | CARPENTIER (H.). — Sur la représentation graphique des tensions des conducteurs des transmissions d'énergie en fonction des portées..... | 883 |
| BRANDT (E.). — L'art et le fer..... | 298 | CARSON (J.-R.) et GILBERT (J.-J.). — Caractéristiques de transmission des câbles sous-marins..... | 661 |
| BRILLOUIN (L.). — L'étude des lois du corps noir..... | 146 | CARVALLO (E.). — Le problème de la relativité dans les diélectriques..... | 156 |
| Rappel général des hypothèses de quanta..... | 258 | CARVALLO (Jacques). — Traité d'Electricité théorique (Bibliographie) | 562 |
| BRIDGMAN (P.-W.). — Mesure des écarts par rapport à la loi d'Ohm dans les métaux soumis à de fortes densités de courant | 430 | CATALDI (B.). — Procédé et appareil pour la décomposition électrolytique des chlorures..... | 95 |
| BRILLOUIN (Marcel). — Les théories électriques de la matière | 882 | CHADWICK (J.). — Voir <i>Rutherford (E.) et Chadwick (J.)</i> | 311 |
| BROCQ (François). — Nécrologie..... | 113 | CHAPPUIS (James) et HUBERT-DESPREZ. — Recherches sur les courants vagabonds et sur l'électrolyse produite par ces courants..... | 3 |
| BROWN, BOVERI ET CIE. — Réchauffage et production d'eau d'alimentation par la vapeur d'échappement des turbines auxiliaires..... | 31 | CHARBONNEAU (G.). — Nouveau dispositif d'électrodes pour cuve électrolytique..... | 93 |
| — Moto-pompes pour usages domestiques et industriels | 130 | — Nouvelle disposition relative aux bains électrolytiques | 93 |
| — Système de commande multiple pour véhicules électriques | 244 | CHASTANG (M.-F.), LAUVERGEON (A.) et PLADAIROL (J.-M.). — Perfectionnements apportés à la soudure autogène des métaux par l'arc électrique..... | 468 |
| Locomotives monophasées B.B.C. à marchandises pour les Chemins de fer de l'Etat prussien et bava-rois | 760 | CHAUMAT. — Sur le galvanomètre balistique..... | 115 |
| BRUGELLES (M.). — Four électrique..... | 439 | — Sur l'application du galvanomètre balistique aux essais de fer | 155 |
| BRUNINGHAUS (L.). — La constitution de l'atome. Résumé d'une conférence de E. Bauer | 299 | — Sur la mesure des isolements par la méthode dite d'accumulation | 309 |
| BRYLINSKI (E.). — Note sur la relation entre la constante diélectrique, la perméabilité magnétique et la vitesse de lumière..... | 232 | — Sur un nouveau wattmètre à lecture directe..... | 592 |
| — L'expérience de Michelson et la théorie de la relativité | 345 | — Sur l'emploi du wattmètre en courants alternatifs dans le cas de très faibles facteurs de puissance | 774 |
| — Erratum | 448 | CHIPART (H.). — Sur les actions mutuelles de courants et d'aimants plongés dans un milieu magnétique illimité | 191 |
| — Sur les feuillets magnétiques..... | 490 | CHOPIN (E.-M.). — Four électrique d'analyses..... | 437 |
| — Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique. Réponse à M. Ilievici..... | 384 | CHRÉTIEN (Henri) et DITISHEIM (Paul). — Chronographe électrique enregistrant, en chiffres, le temps au centième de seconde..... | 907 |
| Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? | 494 | CLARKE (A.). — L'arc électrique dans l'industrie chimique. L'acide nitrique et les nitrates..... | 757 |
| — A propos du projet de normalisation des éléments de construction mécanique..... | 769 | COMMISSION D'UTILISATION DU COMBUSTIBLE. — L'utilisation du combustible sur les chemins de fer..... | 868 |
| BULL (L.). — Appareil pour la dissociation rapide des images dans la cinématographie par étincelles électriques | 908 | COMPTON (K.-T.). — Remarques sur l'ionisation par action cumulative | 742 |
| BUNET (P.). — Surtensions dans les transformateurs. — Voir <i>Bunet (P.) et Barnard (H.)</i> | 682 | CONINCK (Marcel de). — Sur la propulsion des navires par moteurs Diesel, génératrices et moteurs électriques | 641 |
| — Voir <i>Massot (R.) et Bunet (P.)</i> | 752 | CONNELL (John-Mc). — Procédé de fabrication d'acier électrique | 465 |
| BUNET (P.) et BARNARD (H.). — Procédé permettant l'utilisation des cuves électrolytiques pour produire à volonté du chlore ou des chlorates..... | 93 | CORRADI (A. Piraino de). — Procédé et appareil pour l'électrolyse de l'eau..... | 97 |
| — Perfectionnements à la fabrication électrolytique du chlore | 94 | COTTON (H.). — La détermination des pertes des machines électriques par la méthode d'amortissement | 836 |
| BUREAU (Georges). — L'enseignement industriel en Algérie | 877 | DANCE (H.-E.). — Les enroulements d'induits des machines à courant continu..... | 673 |
| BURSIE (H.). — Note sur les qualités générales des divers paliers de transmissions; avantages des paliers à billes | 792 | DAVIER (A.-C.). — Voir <i>Horton (F.) et Davier (A.-C.)</i> | 8 |
| CAMICHEL (C.). — Sur les régimes hydrauliques..... | 5 | | |
| — Sur les surfaces de discontinuité..... | 496 | | |
| CAMPBELL (D.-F.). — Perfectionnements aux fours électriques | 440 | | |
| CANDIE (V.). — Les transformateurs de mesure: leur emploi, leur construction | 193 | | |

| | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| DAVIS (Charles-W.) et SIMONS (Donald-M.). — Tensions de service maxima admissibles dans les câbles | 509, 543 | FANRICH (L.). — Détermination à priori, par le calcul, des pertes de chaleur dans les fours électriques.... | 674 |
| DEBAUGE (H.). — Procédé d'électrolyse aqueuse et appareil à force centrifuge pour électrolyses aqueuses | 94 | FAROUX (Charles). — Progrès réalisés récemment dans la construction du moteur léger à explosion. | 450 |
| DEBIAS (G.-M.). — Perfectionnements aux appareils électrolytiques employés à l'affûtage des limes, râpes et autres outils..... | 98 | FASTOUT (A.). — Une politique financière (Bibliographie) | 178 |
| DEFOUR (A.). — Sur l'utilisation de l'énergie des marées (Cycle Maire, Cycle Claude, Cycle Etat, Cycle Defour) | 313 | FELDMANN (C.) et HOCHSTADTER (M.). — Un nouveau système de protection contre les surintensités.... | 468 |
| DELAMARRE (Ach.). — Le nouveau matériel J. Estrade à la Semaine d'electromotoculture d'Ondes. — Le prix de revient du labourage..... | 121 389 | FERNAND-JACQ. — La concurrence déloyale..... | 333 |
| — L'agonie du tracteur agricole..... | 790 | — Les grands travaux: la percée des Vosges; le Congrès de Colmar | 65 |
| — La semaine d'Electromotoculture d'Ondes..... | 929 | — Les méfaits du règlement transactionnel..... | 69 |
| DELLINGER (L.-H.) et WHITTEMARE (L.-E.). — Les phénomènes radiotélégraphiques | 797 | — Les modifications apportées depuis la guerre à la législation sur la propriété industrielle..... | 173 |
| DESCHAMPS (Jules). — Sur les turbines à gaz et à pétrole | 241 | — Le droit de suite des inventeurs..... | 213 |
| DESLANDRES (Henri). — Sur les progrès de la télégraphie sans fil..... | 9 | — Les impôts en vigueur pour 1922..... | 253 |
| DIGEON (M.). — Au sujet des démarreurs électriques pour moteurs à explosion..... | 128 | — Le nom commercial..... | 415 |
| DITISHEIM (Paul). — Voir <i>Chrétien (Henri)</i> et <i>Ditischeim (Paul)</i> | 907 | — Un office de liaison entre inventeurs et industriels | 597 |
| DONNELLY (D.). — Voir <i>Douling (J.-J.)</i> et <i>Donnelly (D.)</i> | 690 | — Le privilège du Trésor sur les immeubles pour la récupération des taxes sur les bénéfices de guerre... | 639 |
| DOWLING (J.-J.) et DONNELLY (D.). — La mesure d'intervalles de temps très courts par la méthode de charge d'un condensateur..... | 690 | — Le mécanisme des assurances sociales. Projet de loi du 22 mars 1921..... | 675 |
| DRUOT (A.) et LUBIGNAC (J.-L.). — Cours de dessin industriel (Bibliographie) | 562 | — Les prescriptions au profit du Trésor..... | 801 |
| DUBAR (L.). — A propos d'abaques pour le calcul des garanties des transformateurs..... | 628 | FERRAND (A.). — Voir <i>Japiot (Marcel)</i> et <i>Ferrand (A.)</i> | 73 |
| DUFRENE (G.). — Corollaires des lois de Kirchhoff. Principe de la superposition des états d'équilibre.. | 379 | FERRANTI-FIELD. — Protection pour câbles armés triphasés ou diphasés | 237 |
| Mesure de l'isolement d'un réseau en activité..... | 451 | FERRANTI-WATERS. — Système de protection pour feeders en parallèle..... | 239 |
| DUROQUIER (Franck). — La télégraphie sans fil des amateurs (Bibliographie) | 377 | FERRON (L.-A.-Y.). — Perfectionnements aux fours électriques | 437 |
| ERERT (L.). — Recherches récentes sur les anomalies des électrolytes forts | 858 | FÉRU (C.) et LABOURET (J.). — Sur l'équilibrage des pièces tournantes | 919 |
| ECKERSLEY (T.-L.). — Etude sur la résistance des antennes d'émission | 617 | FLEISCHMANN (C.). — Procédé graphique pour le calcul de l'entrefer le plus favorable dans les bobines de réactance à fer saturé..... | 102 |
| EIMER (A.). — Perfectionnements relatifs aux fours électriques | 439 | FLEMING (R.-C.). — Propriétés et caractéristiques des matériaux isolants | 553 |
| EISENMENGER (H.-E.). — Equations simples relatives au fonctionnement des lampes..... | 777 | FLIGHT (W.-S.). — La rigidité diélectrique des isolants solides | 795 |
| ELECTROLYTIC ZINC CO OF AUSTRALASIA PROPRIETARY LTD. — Perfectionnements au traitement des minerais zincifères pour la récupération du zinc par l'électrolyse | 96 | FLORANT (H.). — Description et fonctionnement du système « train dispatching » de la Western Electric Company | 431 |
| — Perfectionnements à la récupération du zinc par l'électrolyse | 96 | FØEX (G.). — Recherches sur le paramagnétisme.... | 387 |
| ESTRADE (J.). — Treuil pour labourage électrique.. | 122 | FOLEY (C.-B.). — Fours électrothermiques à induction | 436 |
| Prise de courant sur lignes aériennes..... | 122 | FONTÈGNE (Julien). — Le choix d'un métier et les aptitudes physiques (Bibliographie)..... | 378 |
| FAIRCHILD (C.-O.) — Voir <i>Foote (P.-D.)</i> , <i>Fairchild (C.-O.)</i> et <i>Harrison (T.-R.)</i> | 933 | FOOTE (P.-D.), FAIRCHILD (C.-O.) et HARRISON (T.-R.). — Pratique de la pyrométrie..... | 933 |
| | | FOOTE (P.-D.). — Voir <i>Mohler (F.-L.)</i> et <i>Foote (P.-D.)</i> | 780 |
| | | FORSYTHE (W.-E.). — Voir <i>Hyde (Edward-P.)</i> et <i>Forsythe (W.-E.)</i> | 534 |
| | | FRIGON (Augustin). — Etude expérimentale sur les pertes d'énergie dans quelques diélectriques industriels | 917 |
| | | GABOR (Eugène). — Calcul des électroaimants à courant continu | 442 |

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| GAGNEPAIN (Léon). — Précis d'organisation comptable; t. I, commerce (Bibliographie)..... | 482 | — Sur l'entretien simultané d'un circuit oscillant et de circuits harmoniques..... | 621 |
| GALIBOURG. — Utilisation de la force thermoélectrique de contact pour identifier quelques aciers.. | 842 | GUY (J.-Paul). — Le coffret de manœuvre, appareil industriel | 278 |
| GANGUILLET (O.). — L'exportation de l'énergie électrique | 64 | GUYE (Ch.-Eug.). — Sur le potentiel explosif des gaz aux pressions élevées..... | 118 |
| GARNIER (E.). — Forces hydrauliques, Moteurs hydrauliques (Bibliographie) | 74 | GUYE (P.-A.). — Perfectionnements au procédé de récupération des oxydes d'azote produits par l'arc électrique dans un mélange d'azote et d'oxygène secs | 466 |
| GEHLHOFF (Georg). — Au sujet des lampes à arc à éclat intrinsèque élevé | 170 | Procédé de récupération des vapeurs nitreuses diluées dans un mélange de gaz inertes secs..... | 467 |
| GENKIN (V.). — Essai d'une théorie synthétique des machines électriques | 683, 733 | HADAMARD (J.). — Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique?..... | 461, 495 |
| GEWECKE (Johann). — Essai d'un moteur synchrone, démarreur en asynchrone et à fort couple de démarrage | 282 | HALL (Edwin-H.). — Action thermoélectrique et conduction thermique dans les métaux..... | 349 |
| GILBERT (J.-J.). — Voir <i>Carson (J.-R.) et Gilbert (J.-J.)</i> | 661 | HARANG (F.). — Problèmes élémentaires avec schémas à l'usage des écoles et cours d'enseignement technique (Electricité industrielle)..... | 146 |
| GILL (E.-W.-B.). — Comparaison des processus d'ionisation qui donnent naissance à des courants dans les gaz | 7 | HARRIS (P.-W.). — La réception des ondes entretenues sans lampes..... | 740 |
| GILSON (R.). — Procédé de fabrication directe de l'acier au four électrique | 464 | HARRISON (T.-R.). — Voir <i>Foote (P.-D.), Fairchild (C.-O.) et Harrison (T.-R.)</i> | 933 |
| GIRAULT (Paul). — Note pratique sur le calcul de l'élévation de température d'après la variation de résistance | 963 | HAUDIÉ (E.). — Cours d'électricité générale de l'Ecole navale (Bibliographie)..... | 914 |
| GISCARDE (Edmond de). — La fraude, la sinistrose et les médecins marrons dans les accidents du travail (Bibliographie) | 377 | HERING (Carl). — Révision de quelques lois de l'électromagnétisme | 532 |
| GODIN (J.). — Chute de tension dans les lignes triphasées basse tension (système en étoile avec fil neutre) | 43 | HEYEN (A.-P.). — Perfectionnements aux fours électriques pour la fabrication de l'acier..... | 465 |
| GOLDSTEIN. — Détermination de la capacité propre des transformateurs | 366 | HOCHSTADTER (M.). — Voir <i>Feldmann (C.) et Hochstadter (M.)</i> | 468 |
| GOUY (G.). — Sur les tensions et pressions Maxwell dans les aimants et les diélectriques | 492 | HOLWECK. — Electroscope à charge automatique... — Nouvelle pompe moléculaire | 534, 674 |
| GOW (C.-C.). — Perfectionnements apportés au réglage de la puissance absorbée dans les fours électriques | 438 | — Nouveau mode de construction des lampes à incandescence de très grande intensité lumineuse. | 722 |
| GRAFFIGNY (H. de). — Album de plans de pose pour l'installation de la force par l'électricité (Bibliographie) | 682 | HONDA (K.) et MATUMURA (T.). — Influence des dimensions d'un aimant permanent sur son coefficient de température..... | 622 |
| GREINER (C.-F.). — Four électrique..... | 437 | HORTON (F.) et DAVIER (A.-C.). — L'émission de lumière et l'ionisation produite par le bombardement électronique dans l'hélium pur et impur..... | 8 |
| GRÉZY (A.-L.-E.). — Procédé électrolytique de transformation du manganate en permanganate et appareil électrolyseur qui s'y rapporte..... | 97 | HOWE. — La capacité effective, la self-induction et la résistance des bobines..... | 874 |
| GROS (F.) et BOUCHARDY (Société). — Procédé de fabrication des oxydes d'azote par l'arc électrique | 467 | HUBER (E.). — La traction monophasée en Suisse.. | 131 |
| GRÜNENWALD (Fritz). — Essais d'isolateurs soumis à des tensions de haute fréquence..... | 840 | HUBERT-DESPREZ. — Voir <i>Chappuis (James) et Hubert-Desprez</i> | 3 |
| GUÉRY (F.). — Contraction du Lorentz et relativité | 179, 219 | HULL (A.-W.). — Le magnétron)..... | 404 |
| — Contraction de Lorentz et relativité..... | 449 | HYDE (Edward-P.) et FORSYTHE (W.-E.). — Température-couleur et éclat de diverses sources lumineuses | 534 |
| — Sur la striction électromagnétique..... | 913 | ILIOVICI (A.). — Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique | 264 |
| GUILBERT (C.-F.). — Emploi des isolants dans les condensateurs électriques | 829 | — Sur un potentiomètre à déviation..... | 338 |
| GUTIERRES (Maurice). — Sur les détériorations des canalisations métalliques souterraines..... | 663 | JACKSON (L.-C.). — La constante diélectrique de quelques éthers à basse température | 890 |
| GUTTON (C.). — La lampe à trois électrodes.... | 481, 521 | JANET (Paul). — Problèmes et exercices d'électricité générale (Bibliographie) | 682 |

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| JANVIER (W.). — Etalonnage des compteurs au lieu même de l'utilisation | 159 | sion et de distribution par courant alternatif triphasé | 926 |
| JAPIOT (Marcel) et FERRAND (A.). — La traction électrique aux Etats-Unis (Bibliographie)..... | 73 | LEBLANC (Maurice). — L'arc électrique..... | 298 |
| JENKINS (H.-C.). — Perfectionnements aux cuves électrolytiques | 93 | LEBOVICI (J.). — Conceptions physiques du fonctionnement du moteur asynchrone..... | 402 |
| JOHN (W.-J.). — Les moteurs électriques de très petite puissance | 721 | LECOCQ (M.). — Les moteurs synchrones auto-démarrateurs | 51 |
| JOITEL (A.). — Note sur les calculs mécaniques des lignes aériennes de transmission d'énergie électrique. Calcul des conducteurs..... | 949 | LEDoux (Ch.). — Sur la possibilité d'exportation en Espagne du petit matériel électrique à usages domestiques | 297 |
| JOYE (Louis). — Ampèremètre électrodynamique à shunts, boîte de contrôle électrodynamique et électrodynamètre à shunts..... | 882 | — Sur la mise à la terre du neutre d'un réseau triphasé | 809 |
| JONES (R.-A.). — Moteurs à collecteur à vitesse variable | 132 | LE GALLOU (Yves). — Les applications du moteur Diesel dans la marine de commerce et leurs conséquences au point de vue de l'industrie électrique. | 535 |
| JOTTE (Charles). — Les redresseurs à vapeur de mercure avec considérations particulières du courant inverse | 322 | LEINEKUGEL et LE COCQ. — Toitures supportées par des fermes de suspension isostatiques en câbles pour hangars, ateliers, docks, etc..... | 561 |
| JOUST (R.). — Sur la réception des ondes entretenues par modulation..... | 82 | LELEU (E.). — Four électrique pour réactions endothermiques sur les gaz..... | 467 |
| JUMEAU (L.). — Les fours électriques et l'électrometallurgie d'après les brevets récents..... | 436, 463 | LEVASSEUR (Albert). — Les métallurgies électrolytiques et leurs applications (Bibliographie)..... | 42 |
| KAMMERER (V.). — La production et l'utilisation de la vapeur | 83, 162 | LEVIN (J.-H.). — Perfectionnements aux éléments électrolytiques | 97 |
| KARLSSON (Karl-I.). — Réponse à l'article « Discussion théorique de la méthode de mesure des débits de N.-R. Gibson »..... | 233 | LEWIN (L.). — Procédé pratique pour la localisation du point de rupture d'un câble triphasé..... | 398 |
| KÄCHLIN (Maurice). — Note sur les tarifs de vente de l'énergie électrique..... | 623 | LEWIS (F.-G.-H.). — Un régulateur de tension automatique | 430 |
| — Sur la mise à la terre du neutre d'une ligne ou d'un réseau triphasé | 666 | LIÉNARD (A.). — Quelques remarques concernant les feuillets magnétiques | 382 |
| KUPFMULLER (K.). — Lignes étalons pour les mesures relatives aux effets d'induction provoqués par les courants téléphoniques dans une canalisation à circuits multiples | 799 | — Quelques remarques concernant les aimants de volume fini et les courants non linéaires..... | 424 |
| LABBÉ (E.). — Rôle de l'Ecole pratique et des Cours professionnels dans les industries électriques...367, | 405 | — Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? | 494 |
| LABOURET (J.). — Voir <i>Féru (C.)</i> et <i>Labouret (J.)</i> .. | 919 | — A propos de la « revision de quelques lois de l'électromagnétisme | 849 |
| LAGUESSE (E.). — Four électrique..... | 440 | LONGUE (G.). — Notes sur la mesure des vitesses de rupture dans les interrupteurs à huile..... | 359 |
| LALLEMENT (J.). — Four électrique à résistance.... | 438 | LOUBIGNAC (J.-L.). — Voir <i>Druot (A.)</i> et <i>Lubignac (J.-L.)</i> | 562 |
| LANGVIN (P.). — Sur la dynamique de la relativité.. | 158 | LUCAS (Diego de). — Four électrique avec canal de coulée | 465 |
| — Sur la nature des grandeurs et le choix d'un système d'unités électriques..... | 259 | MACK (E.). — Four électrique pour le traitement des gaz | 466 |
| — Sur les unités de mesure électrique..... | 338 | MALGORN (G.). — Le Comité technique interallié de Radiotélégraphie | 147 |
| — Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? | 117 | — La transmission à longue distance en télégraphie sans fil..... | 483 |
| LANGLOIS (Richard). — Le diagramme du groupe moteur asynchrone-moteur à collecteur en cascade. | 523 | MARCELOF (C.). — Electrodes pour fours électriques. | 463 |
| LATOUR (Marius). — Dispositif à impédance négative — L'intercommunication entre centrales..... | 190, 218 | MARCHAND (Rob.). — Sur l'harmonique 3 des transformateurs triphasés | 589 |
| — Multiplicateur statique de fréquence pour l'obtention industrielle de très hautes fréquences en télégraphie sans fil..... | 961 | MARCOTTE (Ed.) et BEREHARE (E.). — Les matériaux de constructions mécaniques et aéronautiques (Bibliographie) | 450 |
| LATVERGEON (A.). — Voir <i>Chassang (M.-F.)</i> , <i>Lauvergeon (A.)</i> et <i>Pradairol (J.-M.)</i> | 468 | MARINO (Q.). — Procédé électrolytique pour déca-per le fer et l'acier..... | 98 |
| LAVANCHY (Ch.). — Remarques sur la normalisation des tensions électriques des réseaux de transmis- | | MARSH (C.-W.). — Perfectionnements aux piles électrolytiques | 92 |

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| MARTON (Harold-Medway). — La détermination de la hauteur des aubes des turbines à vapeur..... | 632 | formation et lignes de transmission de force (Bibliographie) | 338 |
| MARVAUD (Angel). — Les possibilités offertes par l'Espagne à l'expansion économique de la France. | 114 | NIELSEN (Hans). — Calcul des redresseurs à vapeur de mercure pour courant triphasé, prédétermination des courbes de l'intensité et de la tension. | 456 |
| MASSING (H.). — Propagation des ondes dans les transformateurs | 75 | OLSEN (O.-R.). — Matériel d'électrode..... | 463 |
| — Note sur la propagation des ondes dans les transformateurs | 310 | OTS-CHEVALIER (Léon). — Essai d'une théorie générale des diagrammes vectoriels en électricité..... | 603, 643 |
| MASSOT (R.) et BUNET (P.). — Transformateur d'essais à 350 000 volts | 752 | Erratum | 848 |
| MATTHIAS. — Compte rendu du Congrès du cos ϵ et de l'Union des Usines d'électricité allemandes.. | 508 | — Sur la prédétermination du facteur de puissance des moteurs asynchrones polyphasés | 771 |
| MATHIVET (J.). — Sur la fixation de la valeur marchande des charbons en fonction de leur capacité productive d'énergie électrique..... | 1 | PAILEY (F.-W.-C.). — Tarification de l'énergie électrique | 472 |
| — Note sur la marche en parallèle de plusieurs usines de puissance différente..... | 203 | PAIRARD (P.). — Remarques sur l'amarrage rationnel des lignes de transmission à très haute tension | 867 |
| — Sur l'unification du matériel électrique..... | 894 | PALANCHON (G.). — Etalonnage des compteurs en régime variable | 834 |
| MATUMURA (T.). — Voir <i>Honda (K.)</i> et <i>Matumura (T.)</i> | 622 | PALMER (J.-B.). — Voir <i>Romero (L.)</i> et <i>Palmer (J.-B.)</i> | 326 |
| MAYEUR (R.). — Remarques sur la détermination des transformateurs spéciaux de relais pour interrupteur | 611 | PARENTY (Louis). — Nécrologie..... | 2 |
| MERCIER. — Sur la synchronisation harmonique des oscillations électriques | 578 | PAUSERT (T.). — Un récent arrêt de la Chambre des Lords au sujet de la lampe électrique à incandescence à atmosphère gazeuse..... | 805 |
| MERZ-PRICE. — Système de protection différentielle. | 235 | PÉCHEUX (Hector). — Traité d'électricité industrielle (Bibliographie) | 602 |
| MEYER (J.). — Remarques sur la théorie de l'oscillographe | 232 | PECTOR (Désiré). — Importations et exportations françaises de matériel électrique, produits électrométallurgiques et électrochimiques | 209, 475 |
| MEYER (Ulfilas). — Abaques auxiliaires pour le calcul des lignes | 615 | PEEK (F.-W.). — Essais divers à 1 000 000 volts.... | 720 |
| MICHALKE (C.). — Détérioration des câbles par les courants vagabonds | 550 | PELOUS. — Renvoi de câble de traction pour labourage électrique | 930 |
| MICHEL (Jacques). — Travail des métaux (Bibliographie) | 642 | POMEY. — Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique | 494 |
| MISSEREY (M.). — Les tarifications nouvelles et la compensation de la puissance réactive par l'emploi des condensateurs statiques | 497 | PÉRARD (A.). — Etude des calibres industriels au moyen des interférences lumineuses..... | 506 |
| MOHLER (F.-S.) et FOOTE (P.-D.). — Rayons X mous caractéristiques émis par l'arc éclatant dans les gaz et les vapeurs | 780 | PERRIN (L.) et PIERNET (E.). — Nouvel isolateur à haute tension. Isolateur « Elperry »..... | 716 |
| MONTORIOL (E.). — Appareils et installations télégraphiques (Bibliographie) | 418 | PESTALOZZA (P.). — Appareil électrochimique pour la production directe de solutions d'hypochlorites par électrolyse de solutions de chlorures..... | 95 |
| MOORE (E.-W.). — Perfectionnements aux fours électriques | 437 | PIAZZOLI (Emilio). — Technique des installations électriques pour lumière et force. Première partie (Bibliographie) | 948 |
| MUHLHOFER (L.). — Considérations théoriques sur le problème de la construction des galeries sous pression | 800 | PIÉRARD (Emile). — Cours d'Electricité et de Magnétisme. Principe d'électrotechnie (Bibliographie) | 178 |
| MUYDEN (René van). — Application des dispositifs et matériel électrique moderne sur le réseau des tramways Beaucourtois | 965 | — Théorie sommaire de la règle à calcul (Bibliographie) | 482 |
| NATALIS (Fr.). — Détermination des grandeurs caractéristiques des circuits parcourus par des courants alternatifs à l'aide d'une méthode semi-analytique, semi-géométrique | 272 | PIERNET (E.). — Voir <i>Perrin (L.)</i> et <i>Piernet (E.)</i> | 716 |
| NÉRÉ (G.). — L'apprenti électricien; générateurs (Bibliographie) | 730 | PINANT (P.-E.-L.). — Procédé d'application directe, par voie électrolytique, des métaux précieux sur fer, fonte, acier (sans interposition de cuivre) dominant des objets résistant au feu (600°)..... | 97 |
| — L'élève électricien; transformateurs (Bibliographie) | 730 | PIQUEREZ (E.). — Résistance pour four électrique.. | 439 |
| NEVEUX (V.). — Stations centrales, postes de trans- | | — Four électrique pour la métallurgie..... | 439 |
| | | PISTOYE (de). — Sur l'harmonique 8 des transformateurs triphasés | 589 |

| | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PLANIOI (André). — Etudes des pertes par frottement dans les moteurs à combustion interne.... | 890 | SCHERBIUS (Arthur). — Compensateur de phase à excitation shunt | 33 |
| PLANIOI (René). — Voir Abraham (Henri) et Planiol (René) | 970 | SCHULZ (Ernst). — Manuel pratique de l'ouvrier électricien mécanicien (Bibliographie)..... | 378 |
| POL (B. van der). — Voir Appleton (E.-V.) et Pol (B. van der) | 388 | SCOTT-TAGGART (J.). — Deux nouveaux dispositifs à résistance négative employés en radiotélégraphie, le négatron et le biotron..... | 61 |
| POMEY. — Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? | 117 | SENTENAC (G.). — Note sur une méthode d'essais en courant dévatté pour la détermination des coefficients de la méthode de Potier..... | 813 |
| POUCHOLLES. — L'enregistreur Gueugnon..... | 258 | SCHEID. — Nouveau type d'isolateur à suspension... .. | 249 |
| PRACHE (P.). — Appareil destiné à l'étude des vibrations produites dans les édifices | 968 | SHENFER (Claudius). — La commutation dans les machines à courant continu..... | 286 |
| PRADAIROL (J.-M.). — Voir Chassang (M.-F.), Lauvergeon (A.) et Pradairol (J.-M.)..... | 468 | SIMONS (Donald-M.). — Voir Davis (W.) et Simons (Donald-M.) | 508 |
| PROCOPIE (S.). — Sur un effet électro et magnéto-optique des liquides qui tiennent des poudres métalliques en suspension | 815 | SLATINEANU (E.). — Méthode d'électrolyse avec production d'un courant utilisable à l'extérieur..... | 97 |
| PURINGTON (E.-S.). — Le fonctionnement du tube modulateur en radiotéléphonie..... | 630 | SLAVICH (J.) et WALTHER (P.). — Les essais au frein des turbines Kaplan de l'installation d'essais de turbines à la maison Storel, de Brünn..... | 876 |
| RADIGUER (C.). — Les grandes unités des chaufferies modernes. La chaudière Ladd-Belleville | 897 | SMITH (W.-Nelson). — Auto-corrosion de la fonte de fer et de divers métaux dans les sols alcalins.. | 621 |
| RAEMY (H. de). — Un laboratoire d'essais à 500 000 volts | 861 | SMOLLEY (E.-L.). — Perfectionnements relatifs aux fours électriques | 439 |
| RANC (Albert). — Les ingénieurs et la guerre (Bibliographie) | 338 | SOCIÉTÉ ARMOUR FERTILIZER WORKS. — Fours électriques à courant polyphasé..... | 438 |
| REYVAL (J.). — La transmission d'énergie Seira-Barcelone de la Société catalane du Gaz et de l'Electricité, à Barcelone..... | 11 | SOCIÉTÉ ÉLECTROMÉTALLURGIQUE FRANÇAISE. — Procédé et appareil permettant d'obtenir directement et économiquement au four électrique un ferromickel riche, de teneur pratiquement constante... | 464 |
| — Note sur les usines hydroélectriques de la poudrière de Pont-de-Buis | 55 | SOCIÉTÉ ELEKTROCHEMISCHE WERKE G. M. B. H. — Electrode de four électrique | 463 |
| — Application de la traction électrique par courant monophasé sur le réseau de la Compagnie des Chemins de fer de la Camargue..... | 351 | SOCIÉTÉ DE MÉTALLURGIE ÉLECTROLYTIQUE. — Appareil pour la production par électrolyse du zinc, du cuivre ou d'autres métaux..... | 95 |
| — L'usine génératrice hydroélectrique de la Loue, à Mouthier | 690 | SOCIÉTÉ MÉTALLURGIQUE DU FRAYOL. — Four électrique oscillant | 441 |
| — L'usine hydroélectrique de Beaumont-Montoux. Description générale des installations..... | 781 | SOCIÉTÉ MÉRIDIONALE DE TRANSPORT. — Les « poteaux noirs » et les lignes agricoles..... | 123 |
| REITHOFFER (Max). — Nouveau dispositif de protection d'un réseau à haute tension en cas de communication avec la terre de l'un des conducteurs... | 761 | SOCIÉTÉ NORSK HYDRO-ELEKTRISK KVAELSTOFKIESELSKAB. — Procédé pour l'électrolyse de solutions aqueuses | 97 |
| RHAM (R. de). — La sécheresse des années 1920-1921 et les restrictions d'énergie électrique..... | 140 | — Procédé et appareil pour l'électrolyse d'électrolytes fondus | 96 |
| RIBAUD (G.). — Voir Weiss (P.) et Ribaud (G.).. | 270 | — Perfectionnements aux fours à arcs électriques... | 467 |
| RISSLER (Georges). — Les Chambres de Métiers... | 171 | — Dispositif pour l'introduction d'air dans les fours électriques à flammes en forme de disques.... | 467 |
| ROMERO (L.) et PALMER (J.-B.). — L'interconnexion des stations centrales | 326 | SOCIÉTÉ THE MORGAN CRUCIBLE COMPANY. — Perfectionnements aux fours électriques..... | 438 |
| ROUELLE (Jean). — La fonte, élaboration et travail (Bibliographie) | 178 | SOCIÉTÉ WILSON VELDER AND METALS COMPANY. — Electrode pour le soudage à l'arc électrique et son procédé de fabrication | 468 |
| ROUTIN (A.). — Cours d'hydraulique industrielle (Bibliographie) | 882 | SOURRIER (Maurice). — Précis d'électricité industrielle. Les appareils à courant alternatif (Bibliographie) | 850 |
| RISLER (Gustave). — Perfectionnements aux dispositifs d'imprégnation des câbles électriques isolés au papier | 441 | SOUTJER (Alfred). — L'interconnexion des petites usines électriques en vue de la meilleure utilisation des chutes d'eau | 202 |
| ROY (Louis). — Sur l'électrodynamique des milieux homogènes et isotropes en repos..... | 815 | SPARRE (Comte de). — A propos de la mesure des débits d'eau par les suppressions résultant d'une fermeture | 337 |
| RUTHERFORD (E.) et CHADWICK (J.). — La désintégration artificielle des éléments légers..... | 601 | | |
| SARRON (P.-F.). — Four électro-convertisseur et procédé de traitement s'y rapportant, pour la fabrication des aciers ordinaires et spéciaux..... | 463 | | |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| STOBIE (V.). — Perfectionnements dans la fabrication de l'acier électrique | 464 | VAILLANT (P.). — Action de la chaleur et de la lumière sur la conductibilité de certains sulfures. | 269 |
| STOCK (G.-J.). — Perfectionnements à la production du fer au four électrique..... | 465 | VEDOVELLI. — Les grands problèmes actuels de l'appareillage électrique, les appareils à très haute tension, les isolateurs suspendus, les disjoncteurs ultra-rapides, les disjoncteurs sélecteurs..... | 73 |
| STOKVIS (L.-G.). — A propos des chutes de tension dans les réseaux triphasés non équilibrés, basse tension, avec fil neutre | 881 | VELANDER (Edy). — Appareil permettant la détermination exacte de la fréquence au moyen d'une méthode de zéro..... | 365 |
| — Sur les diagrammes circulaires des systèmes triphasés déséquilibrés et la définition de leur degré de déséquilibre..... | 957 | VIEL (G.). — Contribution à l'étude de la répartition de la tension sur les chaînes d'isolateurs. Dispositif pour l'amélioration de cette répartition..... | 273 |
| SUET (Jacques). — Usine hydroélectrique de Beaumont-Montoux. Les installations électriques de l'usine | 817 | WALTER (C.-M.). — Appareil d'électrolyse..... | 97 |
| SYNDICAT D'APPLICATIONS INDUSTRIELLES DES COMBUSTIBLES LIQUIDES. — Les combustibles liquides et leurs applications (Bibliographie)..... | 339 | WALTHER (P.). — Voir <i>Slavich (J.)</i> et <i>Walther (P.)</i> ... | 876 |
| SZAPIRO (B.). — Au sujet de la question de la mise à la terre du fil neutre..... | 906 | WATERNAUX. — L'usine électrochimique de Lan-nemezan | 579 |
| TARRADE (A.). — La sécheresse des années 1920-1921 dans la région des Alpes et le Sud-Est de la France | 669 | WEICKER (W.). — Revue des méthodes employées pour la recherche des isolateurs défectueux sur une ligne en service..... | 63 |
| TEIXEIRA (A.-M.). — Perfectionnements aux fours électriques pour obtenir l'acier ou les alliages spéciaux | 464 | WEICKER (W.). — Comparaison entre les types principaux d'isolateurs à suspension d'après les conclusions récentes de la technique..... | 592 |
| TESTARD (Paul). — Protection des réseaux à courants alternatifs par les systèmes sélectifs automatiques Ferranti | 235 | WEISS (P.) et RIBAUD (G.). — Démonstration des discontinuités de l'aimantation par les amplificateurs et les téléphones..... | 270 |
| — Quelques coefficients de sécurité pratiques au sujet des isolateurs suspendus de différents modèles | 393 | WENTE (E.-C.). — Un potentiomètre à courant alternatif par tube à vide..... | 634 |
| THAU (W.-E.). — La propulsion électrique des navires | 205 | WHITTEMARE (L.-E.). — Voir <i>Dellinger (I.-H.)</i> et <i>Whittemare (L.-E.)</i> | 797 |
| THE SHAWINIGAN WATER AND COMPANY. — Appareil électrolytique pour l'oxydation du mercure..... | 98 | WILBOIS (J.). — Etudes d'organisation commerciale (Bibliographie) | 482 |
| THOMSON (J.-J.). — Electricité et matière (Bibliographie) | 642 | WILSON (W.). — Quelques notes sur l'établissement des rhéostats liquides | 871 |
| TRAZ (de). — Description et avantages des pieds indestructibles pour poteaux en bois..... | 682 | WOLF (A.). — Nouvelle composition pour durcir et rendre inabsorbants les corps poreux tels que le plâtre, le staff, etc., en vue de les utiliser directement ou de les recouvrir de dépôts galvaniques par électrolyse | 97 |
| TREMBOUR (Max-R.). — Perfectionnements aux fours électriques à arc..... | 439 | WOOD (J.-C.). — Essais sous 280 000 v sur la « Big Creek Transmission Line »..... | 759 |
| TURMANN (Max). — Sur la propriété d'une invention faite par un membre du personnel d'une entreprise industrielle | 723 | WYSSLING. — Au sujet de l'unification des hautes tensions en Suisse..... | 168 |
| TURPAIN (A.). — Sur la commande à distance d'appareils au moyen de signaux émis par les centrales électriques | 2 | YERNAUX (J.). — Considérations sur la mesure de la puissance réactive des réseaux électriques..... | 851 |
| — Un curieux cas d'électrocution..... | 864 | ZEEMANN. — Election de M. Zeemann comme membre correspondant de l'Académie des Sciences.... | 2 |
| TYNDALL (A.-M.). — Voir <i>Beer (M.-E.-G.)</i> et <i>Tyndall (A.-M.)</i> | 474 | ZETTER (C.). — Le Groupe de l'Electricité à la Foire de Paris | 731 |

INDEX DES ANNONCES

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE

Accumulateurs.

- COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE DE NANCY, rue Oberlin, Nancy (Meurthe-et-Moselle).
FULMEN (ACCUMULATEURS), 18, quai de Clichy, Clichy (Seine).
GADOT, Porte Champerret, Levallois (Seine).
SOCIÉTÉ DES ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES, 18, route de Cherbourg, Nanterre (Seine).
SOCIÉTÉ DES ACCUMULATEURS FIXES ET DE TRACTION, route Nationale, Romainville (Seine).
SOCIÉTÉ GRAMME, 26, rue d'Hautpoul, Paris (19°).
SOCIÉTÉ POUR LE TRAVAIL ÉLECTRIQUE DES MÉTAUX, 26, rue Laffitte, Paris (9°).
THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9°).
TUDOR, 26, rue de la Bienfaisance, Paris (8°).

Appareillage électrique.

- ALUMINIUM FRANÇAIS, 12, rue Roquépine, Paris (8°).
APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE GRIVOLAS, 16, rue Montgolfier, Paris (3°).
APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE INDUSTRIEL, CHEVEAU ET C^{ie}, 16, rue Oberkampf, Paris (11°).
APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE PEERLESS, 15, rue Saint-Vincent, Paris (18°).
ASEA (Société suédoise d'Electricité), Vesteraas (Suède).
ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE DELLE, 28, boulevard de Strasbourg, Paris (10°).
ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE METZ, 23, rue du Manège, Metz.
ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DU NORD ET DE L'EST, Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8°).
BARDON, 61, boulevard National, à Clichy (Seine).
BRANDT ET FOUILLET (Matériel électrique), 23-31, rue Cavendish, Paris (19°).
CADIOT, 31, rue de Maubeuge, Paris (10°).
COMPAGNIE ELECTRO-MÉCANIQUE, 12, rue Portalis, Paris (8°).
COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE DE NANCY, rue Oberlin, Nancy (Meurthe-et-Moselle).
COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ELECTRICITÉ, 54, rue La Boétie, Paris (8°).
CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES, 22, quai de la Bataille, Nancy (Meurthe-et-Moselle).
CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE FRANCE, 19, rue Louis-le-Grand, Paris (9°).

- CONSTRUCTION ÉLECTRIQUE (Société de), 67, rue Molière, Lyon (Rhône).
DELAFAON (Vve), 82, boul. Richard-Lenoir, Paris (11°).
DEMOLY (E.), 43, rue de Trévise, Paris (9°).
EFGÉ (Société de Fournitures générales pour l'Electricité), 75, avenue de la République, Paris (11°).
GARDY, 23, rue de la Voie-des-Bancs, Argenteuil (Seine).
JAPY frères et C^{ie}, Beaucourt (Haut-Rhin) et 7, rue du Château-d'Eau, Paris (10°).
LABOURVERIE, 60, avenue du Pont-de-Luttre, Forest-Bruxelles (Belgique).
LEGENDRÉ frères, 27, rue Saint-Fargeau, Paris (20°).
LEROYER, 204, rue Saint-Maur, Paris (10°).
MATABON (Etablissements J.-L.), 159, avenue Thiers et rue de La Viabert, Lyon (Rhône).
MATÉRIEL INDUSTRIEL ÉLECTRIQUE, 36, rue Baudin, Paris (9°).
MÉTALLURGIQUE ÉLECTRIQUE (La), 14, rue Taitbout, Paris (9°).
MIZERY ET BONVOISIN, 35, boulevard Richard-Lenoir, Paris (11°).
NORMAN LEE, 47, rue du Ranelagh, Paris (16°).
PATAY (Constructions électriques), 97, chemin des Quatre-Maisons, Lyon (Rhône).
PETRIER, TISSOT ET RAYNAUD, 24, rue de la Part-Dieu, Lyon (Rhône).
PRONER ET C^{ie}, 89, rue de la Roquette, Paris (11°).
ROUILLET, 19, rue Saint-Sébastien, Paris (2°).
SCHNEIDER ET C^{ie}, 42, rue d'Anjou, Paris (8°).
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8°).
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DE SÉCHERON, Genève (Suisse).
SOCIÉTÉ ANONYME DE CONSTRUCTION DE DÉMARREURS ET INTERRUPTEURS, 20, rue du Télégraphe, Paris (20°).
SOCIÉTÉ ANONYME DES PORCELAINES ET APPAREILLAGES ÉLECTRIQUES GRAMMONT, 10, rue d'Uzès, Paris (2°).
SOCIÉTÉ DES CONDENSATEURS DE TRÉVOUX, Trévoux (Ain).
SOCIÉTÉ D'ELECTRICITÉ MORS, 28, rue de la Bienfaisance, Paris (8°).
SOCIÉTÉ ÉLECTRIQUE DE NANCY, 9, quai René-II, Nancy (Meurthe-et-Moselle).
SOCIÉTÉ GRAMME, 26, rue d'Hautpoul, Paris (19°).
SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES TÉLÉPHONES, 25, rue du 4-Septembre, Paris (2°).
SOCIÉTÉ D'INSTALLATIONS ET DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES BERTHON ET TOUZOT, 40, rue d'Aguesseau, Boulogne-sur-Seine.
SUTER, 3, rue Alphonse-Penard, Paris (20°).
THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9°).

TRANSFORMATEUR (Le), 15, avenue Matignon, Paris (8°).
LA TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE, 58 bis, rue de la Chaussée-d'Antin, Paris (9°).

Charbons pour Balais et Lampes électriques.

COMPAGNIE LORRAINE DES CHARBONS, LAMPES ET APPAREILLAGES ÉLECTRIQUES, 56, faubourg Saint-Honoré, Paris (8°).
COMPAGNIE FRANÇAISE DES CHARBONS POUR L'ÉLECTRICITÉ, avenue Jules-Quentin, Nanterre (Seine).
COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE DE NANCY, rue Oberlin, Nancy (Meurthe-et-Moselle).
LE CARBONE, 12 et 33, rue de Lorraine, Levallois (Seine).
MARSHALL ET C^{ie}, 17, rue du Pont-aux-Choux, Paris (3°).
SOCIÉTÉ DES ÉLECTRODES DE SAVOIE, Notre-Dame-de-Briançon (Savoie).

Condensateurs.

COMPAGNIE GÉNÉRALE DES CABLES DE LYON, 41, chemin du Pré-Gaudry, Lyon (Rhône).
SOCIÉTÉ DES CONDENSATEURS DE TRÉVOUX, Trévoux (Ain).
SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DES CONDENSATEURS ÉLECTRIQUES, Fribourg (Suisse) et 73, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris (6°).
VARRET ET COLLOT (Société des Etablissements), 7, rue d'Hautpoul, Paris (19°).

Construction électrique et mécanique.

ASEA (Société suédoise d'Electricité), Vasteras (Suède).
ATELIERS ÉLECTRIQUES DE SAINT-OUEN, 13, rue de Clichy, Saint-Ouen (Seine).
ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE BOULOGNE-SUR-SEINE, 87, rue du Château, Boulogne-sur-Seine (Seine).
ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE DELLE, 28, boulevard de Strasbourg, Paris (10°).
ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE LYON ET DU DAUPHINÉ, 10, rue d'Uzès, Paris (2°).
ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE METZ, 23, rue du Manège, Metz.
ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DU NORD ET DE L'EST, Jeumont (Nord), 75, boulevard Haussmann, Paris (8°).
BACHELET (P.), 60 ter, rue Haxe, Paris (20°).
BONNIER, 20, rue Saint-Gilbert, Lyon (Rhône).
BOUCHAYER ET VIALLET (Etablissements), 105, cours Berriat, Grenoble (Isère).
BRANDT ET FOULLERET (Matériel électrique), 23 et 31, rue Cavendish, Paris (19°).
BRÉGUET (Maison), 34, rue de Châteaudun, Paris (9°).
COMPAGNIE ELECTRO-INDUSTRIELLE, 32, rue Jean-Jaurès, Levallois-Perret (Seine).
COMPAGNIE ELECTRO-MÉCANIQUE, 12, rue Portalis, Paris (8°).
COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ, 54, rue La Boétie, Paris (8°).
COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE DE NANCY, rue Oberlin, Nancy (Meurthe-et-Moselle).
CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES, 22, quai de la Bataille, Nancy (Meurthe-et-Moselle).
L. COUFFINHAL, Saint-Etienne (Loire).
DAUPHINOISE ÉLECTRIQUE (La), rue Monestier-de-Clermont, Grenoble (Isère).

DESROUTTES, 103, rue du Cherche-Midi, Paris (6°).
DROUARD, 252, rue Lecourbe, Paris (15°).
ETABLISSEMENTS MERLIN ET GÉRIN, rue du Monestier-de-Clermont, Grenoble (Isère).
ETABLISSEMENTS POSTEL, 199, rue de Vaugirard, Paris (14°).
FIVES-LILLE (C^{ie} de), 7, rue Montalivet, Paris (8°).
FORGES ET ACIÉRIES DE LA MARINE ET D'HOMÉCOURT, Saint-Chamond (Loire) et 12, rue de la Rochefoucauld, Paris (9°).
GIRAUDIER, 28-30, chemin Saint-Charles, Lyon (Rhône).
GRAMMONT (Etablissements A.), Pont-de-Chéruy (Isère).
HERLICQ, 44, rue Amelot, Paris (11°).
JAYY frères et C^{ie}, Beaucourt (Haut-Rhin) et 7, rue du Château-d'Eau, Paris (10°).
JACQUET (frères) (Anciens Etablissements), Vernon (Eure).
LEFLAIVE ET C^{ie}, Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (10°).
LEGENDRE, frères, 37, rue Saint-Fargeau, Paris (20°).
MATABON, 149, avenue Thiers, Lyon (Rhône).
MOTEUR ÉLECTRIQUE (Le), 18, route de Crémieux, Lyon (Rhône).
OERLIKON (Société), à Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9°).
PATAY (Constructions électriques), 97, chemin des Quatre-Maisons, Lyon (Rhône).
PEYMEL ET GOUPILE, 62, rue Jean-Claude-Vivant, Villeurbanne (Rhône).
ROULLAND (Charles), 44, avenue Aubert, Vincennes (Seine).
SAUTTER-HARLÉ (Anciens Etablissements), 26, avenue de Suffren, Paris (15°).
SCHNEIDER ET Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8°).
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8°).
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DE SÉCHERON, Genève (Suisse).
SOCIÉTÉ D'APPLICATIONS ET DE FABRICATIONS INDUSTRIELLES, 14, rue de Bessano, Paris (16°).
SOCIÉTÉ DE CONSTRUCTION ÉLECTRIQUE, 67, rue Molière, Lyon (Rhône).
SOCIÉTÉ DE CONSTRUCTION ET DE LOCATION D'APPAREILS DE LEVAGE, 78, rue Vitruve, Paris (20°).
SOCIÉTÉ DE CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES DE BACCARAT (Meurthe-et-Moselle).
SOCIÉTÉ ÉLECTRIQUE DE NANCY, 9, quai René-II, Nancy (Meurthe-et-Moselle).
SOCIÉTÉ GRAMME, 26, rue d'Hautpoul, Paris (19°).
SOCIÉTÉ D'INSTALLATIONS ET DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES BERTHON ET TOUZOT, 40, rue d'Aguesseau, Boulogne-sur-Seine.
SOCIÉTÉ DES MOTEURS A GAZ ET D'INDUSTRIE MÉCANIQUE, 135, rue de la Convention, Paris (15°).
SOCIÉTÉ SAVOISIENNE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES, Aix-les-Bains (Savoie).
SOCIÉTÉ D'USINAGE DE MATÉRIEL ÉLECTRIQUE, 26, rue Gambetta, Boulogne-sur-Seine (Seine).
SOUlier (Appareils électriques), 7, rue de la Gare, Arcueil (Seine).
THÉVENIN (J.-M.), 122-124, faubourg Saint-Martin, Paris (10°).
THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9°).

WALTER, 19, rue Saint-Sébastien, Paris (11°).

WEYHER ET RICHEMOND (Anciens Etablissements), 52, route d'Aubervilliers, Pantin (Seine).

Matériel neuf et d'occasion.

DOUILLET (P.), 156, rue de Vanves, Paris (14°).

CATU, 82, avenue de la République, Paris (11°).

DORY ET GAIN, 33 et 35, rue du Pont-d'Ivry, Alfortville (Seine).

HUGHES BOLKOW C^o LTD, Audruicq (Pas-de-Calais).

MESSMER (Alexandre), 93, boulevard Diderot, Paris (12°).

ROULLAND (Ch.), 44, avenue Aubert, Vincennes (Seine).

THÉVENIN (J.-M.), 122-124, faubourg Saint-Martin, Paris (10°).

UNIVERSEL ELECTRIC (Etablissements Ad. Roulland), 37, rue Bagnole, Paris (20°).

Piles électriques.

DELAFAON (Vve), 82, boul. Richard-Lenoir, Paris (11°).

LE CARBONE, 12 et 33, rue de Lorraine, Levallois (Seine).

THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9°).

MESURES ET COMPTAGE

Appareils de Mesure.

CADIOT (M.), 31, rue de Maubeuge, Paris (10°).

CARPENTIER (J.), 20, rue Delambre, Paris (14°).

CHAUVIN ET ARNOUX, 186, rue Championnet, Paris (18°).

COMPAGNIE DE CONSTRUCTION ÉLECTRIQUE, 44, rue du Docteur-Lombard, Issy-les-Moulineaux (Seine).

COMPAGNIE POUR LA FABRICATION DES COMPTEURS ET MATÉRIEL D'USINES A GAZ, 18, boulevard de Vaugirard, Paris (15°).

DA ET DUTILH, 81, rue Saint-Maur, Paris (11°).

DANON ET C^{ie}, 140, rue de la Croix-Nivert, Paris (15°).

DÉMOLY, 43, rue de Trévise, Paris (9°).

DÉMOLY ET MARTINOT, 44, rue Saint-Lazare, Paris (9°).

GARNIER, 23-25, rue Cavenne, Lyon (Rhône).

GUERILLON, 4, rue du Borrego, Paris (20°).

JOHANSON, 75, boulevard Raspail, Paris (14°).

LANDIS ET GYR, 12, rue Lapeyrère, Paris (18°).

NOVITAS, 1, rue Jeune-Anacharsis, Marseille (Bouches-du-Rhône).

RICHARD (J.), 25, rue Mélingue, Paris (19°).

SOCIÉTÉ ANONYME LOMBARDE C. G. S. (Anciennement Olivetti et C^{ie}), 25, rue Pasquier, Paris (8°).

SOCIÉTÉ GRAMME, 26, rue d'Hautpoul, Paris (19°).

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE POUR LA FABRICATION D'APPAREILS DE MESURE, 5, rue Godot-de-Mauroy, Paris (9°).

TRUB, TAUBER ET C^{ie}, 36, boulevard de la Bastille, Paris (12°).

ZIVY ET C^{ie}, 29 et 31, rue de Naples, Paris (8°).

Compteurs électriques.

COMPAGNIE ANONYME CONTINENTALE POUR LA FABRICATION DES COMPTEURS A GAZ ET AUTRES APPAREILS, 17, rue d'Astorg, Paris (8°).

COMPAGNIE DE CONSTRUCTION ÉLECTRIQUE, 44, rue du Docteur-Lombard, Issy-les-Moulineaux (Seine).

COMPAGNIE POUR LA FABRICATION DES COMPTEURS ET MATÉRIEL D'USINES A GAZ, 18, boulevard de Vaugirard, Paris (6°).

GARNIER, 23, rue Cavenne, Lyon (Rhône).

JAPY FRÈRES ET C^{ie}, Beaucourt (Haut-Rhin) et 7, rue du Château-d'Eau, Paris (10°).

LANDIS ET GYR, 12, rue Lapeyrère, Paris (18°).

SANGAMO ELECTRIC C^o, 62, rue La Rochefoucauld, Paris (9°).

SOCIÉTÉ ANONYME LOMBARDE C. G. S., 25, rue Pasquier, Paris (8°).

MATÉRIEL POUR LIGNES DE DISTRIBUTION

Câbles et Fils électriques.

ALUMINIUM FRANÇAIS, 12, rue Roquépine, Paris (8°).

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DU NORD ET DE L'EST, Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8°).

COMPAGNIE GÉNÉRALE DES CABLES DE LYON, 41, Chemin du Pré-Gaudry, Lyon (Rhône).

COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ, 54, rue La Boétie, Paris (8°).

COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE DE NANCY, rue Oberlin, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE FRANCE, 19, rue Louis-le-Grand, Paris (9°).

ERGÉ (Société de Fournitures générales pour l'Electricité), 75, avenue de la République, Paris (11°).

FIL DYNAMO (Le), 17 et 19, rue Barrême, Lyon (Rhône).

GEOFFROY ET DELORE, 28, rue des Chasses, Clichy (Seine).

GRAMMONT (A.) (Etablissements), Pont-de-Chéruy (Isère).

JARRIANT (J.), 233, rue Croix-Nivert, Paris (15°).

MANUFACTURE PARISIENNE DE FILS ET CABLES ÉLECTRIQUES, 49, rue Fessart, Paris (19°).

LE MATÉRIEL TÉLÉPHONIQUE, 46, avenue de Breteuil, Paris PIRELLI ET C^{ie}, Milan (Italie).

SEGHERS (Ad.), 7, rue Scribe, Paris (9°).

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8°).

SOCIÉTÉ ELECTRO-CABLE, 2, rue de Penthèvre, Paris (8°).

SOCIÉTÉ D'ELECTRO-MÉTALLURGIE DE DIVES, 11 bis, rue Roquépine, Paris (8°).

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES TÉLÉPHONES, 25, rue du 4-Septembre, Paris (2°).

THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9°).

Isolateurs et Isolants.

APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE GRIVOLAS, 14 et 16, rue Montgolfier, Paris (3°).

BORSCHNECK, 17, rue de la Fraternité, Bagnole (Seine).

CADIOT (Marcel), 31, rue de Maubeuge, Paris (10°).
 COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ, 54, rue La Boétie, Paris (8°).
 C^{ie} GÉNÉRALE D'ELECTRO-CÉRAMIQUE, 64, rue Franklin, Ivry-Port (Seine).
 DÉMOLY (Ernest), 43, rue de Trévise, Paris (9°).
 DÉMOLY ET MARTINOT, 44, rue Saint-Lazare, Paris (9°).
 DIAMOND STATE FIBRE C^o, Tottenham, N. 15, Londres (Angleterre).
 EFGÉ (Société de Fournitures générales pour l'Electricité), 75, avenue de la République, Paris (11°).
 FEUGIER (Etablissements Louis), Sault-Brenaz (Ain).
 GALLANT (Albert), Comines (Nord) et 1, rue Laffitte, Paris (10°).
 GLADSTONE LTD (Thomas), 70, Honor Oak Road, London, S. E., 23.
 GUICHARD (Aristide), Jallieu-Bourgoin (Isère).
 HAEFELY (E.) et C^{ie}, Bâle (Suisse).
 L. C. II. (Etablissements), 105, rue Lafayette, Paris (9°).
 MANUFACTURE D'ISOLANTS DU RHÔNE, rue Bouchet, Lyon-Villeurbanne (Rhône).
 MASSELIN, Bernay (Eure).
 MATÉRIEL ISOLANT (Le), 20, rue Arago, Lyon-Villeurbanne (Rhône).
 MÉTALLURGIQUE ÉLECTRIQUE (La), 14, rue Taitbout, Paris (9°).
 MICAFIL, Zurich-Altstetten (Suisse).
 LE MICALAS, 6, rue Volney, Paris (2°).
 PARVILLÉE, frères et C^{ie} (Anciens Etablissements), 56, rue de la Victoire, Paris (9°).
 PIRELLI ET C^{ie}, Milan (Italie).
 SOCIETA ITALIANA MONTI ET MARTINI, 51, via Bergamo, Milan (Italie).
 SOCIÉTÉ ANONYME DES ANCIENNES USINES DE FUISSEAUX, Baudour (Belgique).
 SOCIÉTÉ ANONYME DES PORCELAINES ET APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE GRAMMONT, 10, rue d'Uzès, Paris (2°).
 SOCIÉTÉ FRANÇAISE GARDY, Argenteuil (Seine-et-Oise).
 SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE CÉRAMIQUE, Erôme (Drôme).
 SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES TÉLÉPHONES, 25, rue du 4-Septembre, Paris (2°).
 STERLING VARNISH C^o, 13, rue du Départ, Paris (14°).
 USINE CÉRAMIQUE D'AMBAZAC, Ambazac (Haute-Vienne) et rue de Berti, Paris (8°).
 USINES DIÉLECTRIQUES DE DELLE, Delle (territoire de Belfort).
 VALDELÈVRE ET C. MAÎTRE, 11, rue d'Hauteville, Paris (9°).
 WEIDMANN, Rapperswil (Suisse).

Protection des Réseaux

CAPART (G.), 189, rue Saint-Honoré, Paris (1^{re}).
 LA TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE, 58 bis, rue de la Chaussée-d'Antin, Paris (9°).

Pylônes.

BOUCHAYER ET VIALLET (Etablissements), 155, cours Berriat, Grenoble (Isère) et 124, rue La Boétie, Paris (8°).
 DESAULTY, 13, rue de Longueville, Saint-Quentin (Aisne) et 11, rue de Provence, Paris (9°).
 JOYA (Régis), Grenoble (Isère).

LEFLAIVE ET C^{ie} (Forges et Acieries de la Chaléassière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ ANONYME BUSS, à Bâle (Suisse).
 SOCIÉTÉ DE CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES DE BACCARAT (Meurthe-et-Moselle).

INSTALLATIONS ET ENTREPRISES ÉLECTRIQUES.

COLLET, frères, 1, avenue Berthelot, Lyon (Rhône).
 COMPAGNIE D'ENTREPRISES HYDRAULIQUES ET DE TRAVAUX PUBLICS, 25, rue de Courcelles, Paris (8°).
 COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ENTREPRISES ÉLECTRIQUES, 20, rue du Laos, Paris (15°) et 295, avenue Jean-Jaurès, Lyon (Rhône).
 COMPAGNIE GÉNÉRALE DE TRAVAUX D'ÉCLAIRAGE ET DE FORCE (Anciens Etablissements Clémanson), 23, rue Lamar-tine, Paris (9°).
 DESAULTY, 13, rue de Longueville, Saint-Quentin (Aisne) et 11, rue de Provence, Paris (9°).
 DORY ET GAIN, 33 et 35, rue du Pont-d'Ivry, Alfortville (Seine).
 ELECTRO-ENTREPRISE, 43, rue de la Bienfaisance, Paris (8°).
 ENTREPRISE GÉNÉRALE DE TRAVAUX PUBLICS ET D'ÉLECTRICITÉ, 2, rue de la Pépinière, Paris (9°).
 GIRAUDON, 11 bis, rue d'Aguesseau, Paris (8°).
 LEBREC, 66, avenue de La Bourdonnais, Paris (7°).
 SOCIÉTÉ DE CONSTRUCTION ÉLECTRIQUE, 67, rue Molière, Lyon (Rhône).
 SOCIÉTÉ D'ÉLECTRICITÉ MORS, 28, rue de la Bienfaisance, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'ÉLECTRIFICATION, 14, rue Taitbout, Paris (9°).
 SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'ENTREPRISES, 56, faubourg Saint-Honoré, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ DES GRANDS RÉSEAUX ÉLECTRIQUES, 8, rue Lamennais, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ DES GRANDS TRAVAUX DE MARSEILLE, 25, rue de Courcelles, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENTREPRISES ÉLECTRIQUES, 3, rue du Président-Carnot, Lyon (Rhône).
 TISSOT ET CURIS, 218, avenue de Saxe, Lyon (Rhône).
 TRAVAUX HYDRAULIQUES ET ENTREPRISES GÉNÉRALES, 2, rue de la Liberté, Grenoble (Isère).

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ ÉCLAIRAGE ET CHAUFFAGE

ALUMINIUM FRANÇAIS, 12, rue Roquépine, Paris (8°).
 APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE GRIVOLAS, 14 et 16, rue Mont-golfier, Paris (3°).
 BARDON, 61, boulevard National, Clichy (Seine).
 BRANDT ET FOULLERET (Matériel électrique), 23 à 31, rue Cavendish, Paris (19°).
 COMPAGNIE DES LAMPES MAZDA, 41, rue La Boétie Paris (8°).
 COMPAGNIE LORRAINE DES CHARBONS, LAMPES ET APPAREILLAGES ÉLECTRIQUES, 56, faubourg Saint-Honoré, Paris (8°).
 COMPAGNIE FRANÇAISE POUR LA FABRICATION DES LAMPES ÉLECTRIQUES À INCANDESCENCE, 36, rue Godot-de-Mau-roy, Paris (9°).
 COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ, 54, rue La Boétie, Paris (8°).

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE TRAVAUX D'ÉCLAIRAGE ET DE FORCE (Anciens Etablissements Clémanson), 23, rue Lamar-tine, Paris (9^e).

CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE FRANCE, 19, rue Louis-le-Grand, Paris (9^e).

GRAMMONT (Etablissements A.), Pont-de-Chéruy (Isère).

GUINIER, 38, rue de Trévis, Paris (9^e).

LACARRIÈRE (Société), 48, rue de la Victoire, Paris (9^e).

MATÉRIEL TÉLÉPHONIQUE (Le), 46, avenue de Breteuil, Paris.

SOCIÉTÉ D'ÉLECTRICITÉ MORS, 28, rue de la Bienfaisance, Paris (8^e).

SOCIÉTÉ GRAMME, 26, rue d'Hautpoul, Paris (19^e).

SOUDURE ÉLECTRIQUE (La), 40, boulevard Auguste-Blanqui, Paris (5^e).

THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9^e).

VISSEUX (J.), 87, quai Pierre-Seize, Lyon (Rhône).

Accessoires pour l'Éclairage.

EGFÉ (Société de Fournitures générales pour l'Électricité), 75, avenue de la République, Paris (11^e).

NOVITAS, 1, rue Jeune-Anacharsis, Marseille (Bouches-du-Rhône).

Chauffage et Cuisine électriques.

CALOR (Société), 200, rue Boileau, Lyon (Rhône).

CLIN, 29, rue Corbeau, Paris (10^e).

ELECTRA SAINT-LOUIS, Saint-Louis (Haut-Rhin).

PARVILLÉE, frères (Anciens Etablissements), 56, rue de la Victoire, Paris (9^e).

ÉLECTROCHIMIE ET ÉLECTROMÉTALLURGIE

GRAMMONT (Etablissements A.), Pont-de-Chéruy (Isère).

SCHNEIDER ET C^{ie}, 42, rue d'Anjou, Paris (8^e).

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Bel-fort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8^e).

SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DE SÉCHERON, Genève (Suisse).

SOCIÉTÉ D'ÉLECTROCHIMIE, 2, rue Blanche, Paris (9^e).

SOCIÉTÉ DES ÉLECTRODES DE SAVOIE, Notre-Dame de Brian-çon (Savoie).

SOCIÉTÉ D'ÉLECTROMÉTALLURGIE DE DIVES, 11 bis, rue Ro-quépine, Paris (8^e).

THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9^e).

LEVAGE ET MANUTENTION

Appareils de levage et de manutention.

ASEA (Société suédoise d'Électricité), Vesteras (Suède).

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DU NORD ET DE L'EST, Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8^e).

BRANDT ET FOULLERET (Matériel électrique), 23 à 31, rue Cavendish, Paris (19^e).

COMPAGNIE ELECTRO-MÉCANIQUE, 12, rue Portalis, Paris (8^e).

COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE DE NANCY, rue Oberlin, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

L. COUFFINHAL, Saint-Etienne (Loire).

ETABLISSEMENTS EYDOUX-SAMAIN, 76, rue Lecourbe, Pa-
ris (15^e).

FIVES-LILLE (Compagnie de), 7, rue Montalivet, Paris (8^e).

FONDERIES ET ATELIERS DE LA COURNEUVE, 48, rue La Boétie, Paris (8^e).

HERZOG, 11, rue Bernouilli, Paris (8^e).

JOYA (Régis), Grenoble (Isère).

LEFLAIVE ET C^{ie}, Saint-Etienne, 78, rue d'Anjou, Paris (8^e).

OERLIKON (Société), 15, rue de Milan, Paris (9^e).

PONTILLE, 13, rue des Tournelles, Lyon (Rhône).

SAUTTER-HARLÉ, 26, avenue de Suffren, Paris (15^e).

SCHNEIDER ET Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8^e).

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Bel-fort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8^e).

SOCIÉTÉ DE CONSTRUCTION ET DE LOCATION D'APPAREILS DE LEVAGE, 78, rue Vitruve, Paris (20^e).

SOCIÉTÉ GRAMME, 26, rue d'Hautpoul, Paris (19^e).

THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9^e).

TRANSPORTEURS-SIMPLEX (Compagnie des), 43, rue Lafayette, Paris (9^e).

MINES

Matériel pour Mines.

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DU NORD ET DE L'EST, Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8^e).

COMPAGNIE ELECTRO-MÉCANIQUE, 12, rue Portalis, Paris (8^e).

COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE DE NANCY, rue Oberlin, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

L. COUFFINHAL, Saint-Etienne (Loire).

FIVES-LILLE (C^{ie} de), 7, rue Montalivet, Paris (8^e).

LEFLAIVE ET C^{ie} (Forges et Aciéries de la Chalméssière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8^e).

LEROY, 14, rue de Liège, Paris (9^e).

OERLIKON (Société), 15, rue de Milan, Paris (9^e).

SCHNEIDER ET C^{ie}, 42, rue d'Anjou, Paris (8^e).

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Bel-fort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8^e).

THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9^e).

MATÉRIEL RADIOMÉTALLOGRAPHIQUE

GAIFFE-GALLOT ET PILON (H.) (Société anonyme des Eta-
blissements), 53, rue de Paris, Asnières (Seine).

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

Télégraphie.

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE TÉLÉGRAPHIE ET DE TÉLÉPHONIE, 25, rue des Usines, Paris (15^e).

Télégraphie sans fil.

SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DE SÉCHERON, Genève (Suisse).

SOCIETÀ ANONIMA BREVETI A. PEREGO, 10, Via Salaino, Milan (Italie).

SOCIÉTÉ DES CONDENSATEURS DE TRÉVOUX, Trévoux (Ain).

SOCIÉTÉ FRANÇAISE RADIO-ELECTRIQUE, 79, boulevard Haussmann, Paris (9°).

Téléphonie.

IRÉGUET (Maison), 19, rue Didot, Paris (14°).
 MATÉRIEL TÉLÉPHONIQUE (Le), 46, avenue de Breteuil, Paris (15°).
 SOCIETA ANONIMA BREVETI A. PEREGO, 10, Via Salaino, Milan (Italie).
 SOCIÉTÉ ANONYME DES PORCELAINES ET APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE GRAMMONT, 10, rue d'Uzès, Paris (2°).
 SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE TÉLÉGRAPHIE ET DE TÉLÉPHONIE, 25, rue des Usines, Paris (15°).
 SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES TÉLÉPHONES, 25, rue du 4-Septembre, Paris (2°).
 TÉLÉPHONES LE LAS, 181, rue de Vaugirard, Paris (15°).
 THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9°).

TRACTION

Traction électrique.

ASEA (Société suédoise d'Electricité), Vasteras (Suède).
 ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DU NORD ET DE L'EST, Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8°).
 COMPAGNIE ELECTRO-MÉCANIQUE, 12, rue Portalis, Paris (8°).
 FIVES-LILLE (Compagnie de), 7, rue Montalivet, Paris (8°).
 OERLIKON (Société), 15, rue de Milan, Paris (9°).
 SCHNEIDER ET C^{ie}, 42, rue d'Anjou, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ PARISIENNE POUR L'INDUSTRIE DES CHEMINS DE FER ET DES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES, 75, boulevard Haussmann, Paris (8°).
 THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9°).

Appareillage pour la Traction.

CADIOT (M.), 31, rue de Maubeuge, Paris (9°).
 DÉMOLY (Ernest), 43, rue de Trévise, Paris (9°).
 MÉTALLURGIQUE ÉLECTRIQUE (La), 14, rue Taitbout, Paris (9°).

Matériel roulant pour Chemins de fer.

COMPAGNIE ELECTRO-MÉCANIQUE, 12, rue Portalis, Paris (8°).
 CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE FRANCE, 19, rue Louis-le-Grand, Paris (9°).
 FIVES-LILLE (Compagnie de), 7, rue Montalivet, Paris (8°).
 OERLIKON (Société), 15, rue de Milan, Paris (9°).
 SCHNEIDER ET Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8°).

Signaux et Enclenchements pour Chemins de fer

SOCIÉTÉ D'ELECTRICITÉ MORS, 28, rue de la Bienfaisance, Paris (8°).

MACHINES MOTRICES

MACHINES HYDRAULIQUES

Aménagements hydrauliques et accessoires.

BOUCHAYER ET VIALLET, 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).
 JOYA (Régis), Grenoble (Isère).
 LEFLAIVE ET C^{ie} (Forges et Ateliers de la Chaléassière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ ANONYME DES BARRAGES AUTOMATIQUES, Zurich (Suisse).
 SOCIÉTÉ ANONYME BUSS, à Bâle (Suisse).
 SOCIÉTÉ HYDRO-MÉCANIQUE, 61, allée de Brienne, Toulouse (Haute-Garonne).

Turbines hydrauliques.

NEYRET-BEYLIET ET PICCARD-PICTET (Ateliers), Grenoble (Isère).
 SOCIÉTÉ ANONYME TH. BELL ET C^{ie}, Kriens-Lucerne (Suisse).
 SOCIÉTÉ HYDRO-MÉCANIQUE, 61, allée de Brienne, Toulouse (Haute-Garonne).
 TEISSET-ROSE-BRAULT (Etablissements), 14, rue du Ranelagh, Paris (16°).

MACHINES A GAZ, A EXPLOSION ET A COMBUSTION INTERNE

Gazogènes.

BOUCHAYER ET VIALLET (Etablissements), 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).
 DIÉNY ET LUCAS, 50, rue Taitbout, Paris (9°).
 LEFLAIVE ET C^{ie}, 78, rue d'Anjou, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ DE MOTEURS A GAZ ET D'INDUSTRIE MÉCANIQUE, 135, rue de la Convention, Paris (15°).

Moteurs.

CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE FRANCE, 19, rue Louis-le-Grand, Paris (9°).
 DELAUNAY-BELLEVILLE (Etablissements), St-Denis (Seine).
 FIVES-LILLE (C^{ie} de), 7, rue Montalivet, Paris (8°).
 KATER ET ANKERSMIT, 39, avenue de Villiers, Paris (17°).
 LEFLAIVE ET C^{ie} (Forges et Ateliers de la Chaléassière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8°).
 PITOT, 7, rue Scribe, Paris (9°).
 RENAULT (L.), 15, rue Gustave-Sandoz, Billancourt (Seine).
 SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ DES MOTEURS CHALÉASSIÈRE, Saint-Etienne (Loire).
 SOCIÉTÉ DE MOTEURS A GAZ ET D'INDUSTRIE MÉCANIQUE, 135, rue de la Convention, Paris (15°).
 THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9°).

MACHINES A VAPEUR

Chaudières.

BOUCHAYER ET VIALLET, 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).
 DELAUNAY-BELLEVILLE (Etablissements), St-Denis (Seine).

FONDERIES ET ATELIERS DE LA COURNEUVE, 48, rue La Boétie, Paris (8°).
JOYA (Régis), Grenoble (Isère).
KESTNER, 7, rue de Toul, Lille (Nord).
LEFLAIVE ET C^{ie} (Forges et Aciéries de la Chaléassière), Saint-Etienne et 78, rue d'Anjou, Paris (8°).
NICLAUSSE (J. ET A.), 24, rue des Ardennes, Paris (19°).
SCHNEIDER ET Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8°).
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8°).

Accessoires pour chaudières.

BOUCHAYER ET VIALLET (Etablissements), 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).
FOYERS AUTOMATIQUES (Société anonyme des), 31, place Saint-Ferdinand, Paris (17°).
GREEN AND SON, 32, rue de Londres, Paris (9°).
HOPKINSON ET C^{ie} LTD, Huddersfield (Angleterre) et 94, rue Saint-Lazare, Paris (9°).
JOYA (Régis), Grenoble (Isère).
NICLAUSSE (J. ET A.), 24, rue des Ardennes, Paris (19°).
PRACHE ET BOUILLON (Etablissements), 25, rue de la Pépinière, Paris (8°).
SÈE (M^{me} Veuve P. R. et L.), 45, avenue de Ceinture, Enghien-les-Bains (Seine-et-Oise).
SOCIÉTÉ DES ANCIENS ETABLISSEMENTS HOTCHKISS ET C^{ie}, 6, route de Gonesse, Saint-Denis (Seine).
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES POMPES WORTHINGTON, 1, rue des Italiens, Paris (2°).
SOCIÉTÉ DES PRODUITS MÉTALLURGIQUES, 148, boulevard Haussmann, Paris (8°).
THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9°).
ULRICI (Epurateur de vapeur), 13, rue Treilhard, Paris (8°).

Tirage mécanique.

COMPAGNIE STURTEVANT, 60, rue Saint-Lazare, Paris (9°).
NICLAUSSE (J. ET A.), 24, rue des Ardennes, Paris (19°).

Machines à vapeur.

DELAUNAY-BELLEVILLE (Etablissements), St-Denis (Seine).
FIVES-LILLE (Compagnie de), 7, rue Montalivet, Paris (8°).
LEFLAIVE ET C^{ie}, Saint-Etienne (Loire).
LEROY, 14, rue de Liège, Paris (9°).
PITOT, 7, rue Scribe, Paris.
SAUTTER-HARLÉ (Anciens Etablissements), 26, avenue de Suffren, Paris (15°).
SCHNEIDER ET C^{ie}, 42, rue d'Anjou, Paris (8°).
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8°).
WEYHER ET RICHEMOND (Anciens Etablissements), 52, route d'Aubervilliers, Pantin (Seine).

Turbines à vapeur.

BRÉQUET (Maison), 19, rue Didot, Paris (14°).
COMPAGNIE ELECTRO-MÉCANIQUE, 12, rue Portalis, Paris (8°).
CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE FRANCE, 19, rue Louis-le Grand, Paris (9°).

FIVES-LILLE (Compagnie de), 7, rue Montalivet, Paris (8°).
LEFLAIVE ET C^{ie} (Forges et Ateliers de la Chaléassière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8°).
OERLIKON (Société), à Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9°).
RATEAU (Société), 40, rue du Colisée, Paris (8°).
SAUTTER-HARLÉ, 26, avenue de Suffren, Paris (15°).
SCHNEIDER ET C^{ie}, 42, rue d'Anjou, Paris (8°).
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8°).
SOCIÉTÉ DE MÉCANIQUE ROTATIVE, 8, avenue Percier, Paris (8°).
THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9°).

MATIÈRES PREMIÈRES ET OUTILLAGE

Combustible.

SOCIÉTÉ D'ECLAIRAGE, CHAUFFAGE ET FORCE MOTRICE, 22, rue de Calais, Paris (9°).

Courroies et Transmission.

WYSS ET C^{ie}, Seloncourt (Doubs).

Engrenages.

ENGRENAGE (L'), 62, rue Eugène-Muller, Saint-Etienne (Loire).

Ferrures.

ALESSANDRO BRIZZA, 21, rue Gluck, Milan (Italie).
CATU, 82, avenue de la République, Paris (11°).
JACQUEMARD (Jean), La Ricamarie (Loire).
SCHNEIDER ET C^{ie}, 42, rue d'Anjou, Paris (8°).
• SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENTREPRISES ÉLECTRIQUES, 3, rue du Président-Carnot (Bellecour), Lyon.

Fours industriels

Matériel pour Forges et Fonderies.

MÉKER (G.) ET C^{ie}, 105, boulevard de Verdun, Courbevoie (Seine).

Glaces, Verres et Verrerie.

COLES, 4, rue de la Comète, Paris (7°).
PANIAGUA (Ph. de), TAULIN (Hubert) ET C^{ie}, 7, rue de Nemours, Paris (11°).

Huiles pour Machines et Appareils électriques

MERCIER ET C^{ie}, 14, rue de Liège, Paris (9°).
SEMEUSE (La), 11, rue Scribe, Paris (8°).
STANDARD OIL WORKS, 28, rue de Châteaudun, Paris (9°).
VACUUM OIL C^o, 34, rue du Louvre, Paris (2°).
VILLENEUVE, 47, boulevard Saint-Jacques, Paris (14°).

Machines à glace.

DELAUNAY-BELLEVILLE (Etablissements), St-Denis (Seine).
PICTET (C^{ie} Industrielle des Procédés Raoul), 28, rue de Grammont, Paris (2°).

Machines-outils, Outillage.

BOMBLED, 94, rue de Montreuil, Paris (11°).
 CADIOT (Marcel), 31, rue de Maubeuge, Paris (10°).
 L. COUFFINHAL, Saint-Etienne (Loire).
 DEBRON, 91, rue du Centre, La Garenne-Colombes (Seine).
 ERNAULT (H.), 169, rue d'Alésia, Paris (14°).
 FENWICK, frères et C^{ie} (Société anonyme des Etablissements), 8, rue de Roeroy, Paris (10°), et 112, boulevard des Belges, Lyon (Rhône).
 HERZOG, 11, rue Bernoulli, Paris (8°).
 JOHANSSON, 75, boulevard Raspail, Paris (14°).
 LEFLAIVE ET C^{ie} (Forges et Ateliers de la Chaléassière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8°).
 LESTAEVEL (Constructions mécaniques), 54 et 56, rue des Ecoles, Villeurbanne, Lyon (Rhône).
 MANUFACTURE DE MACHINES AUXILIAIRES POUR L'ELECTRICITÉ ET L'INDUSTRIE, 8, rue de Lorraine, Levallois-Perret (Seine).
 MICAFIL, Zurich-Altstetten (Suisse).
 RIGHETTI (L. de) ET C^{ie}, 181, boulevard Lefebvre, Paris (15°).
 SCHNEIDER ET C^{ie}, 42, rue d'Anjou, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES POMPES WORTHINGTON, 1, rue des Italiens, Paris (2°).
 SOCIÉTÉ D'OUTILLAGE MÉCANIQUE ET D'USINAGE D'ARTILLERIE, 19, avenue de la Gare, Saint-Ouen (Seine).
 THÉVENIN, 122, faubourg Saint-Martin, Paris (10°).

Métallurgie.

ALUMINIUM FRANÇAIS, 12, rue Roquépine, Paris (8°).
 COMPTOIR INDUSTRIEL D'ÉTRAGE ET PROFILAGE DES MÉTAUX, 107, 109, 111, 113, avenue Philippe-Auguste, Paris (11°).
 DURALUMIN (Société du), 3, rue La Boétie, Paris (8°).
 FORGES ET ACIÉRIES DE LA MARINE ET D'HOMÉCOURT (C^{ie} des), 12, rue de la Rochefoucauld, Paris (9°).
 PRODUITS MÉTALLURGIQUES (Société des), 18, rue Boissière, Paris (16°).

Métaux électrolytiques.

SOCIÉTÉ D'ELECTRO-MÉTALLURGIE DE DIVES, 11 bis, rue Roquépine, Paris (8°).

Poteaux en bois, Moulure.

BOIS INDUSTRIELS D'ALSACE ET DE LORRAINE (Les), Florange (Moselle).
 SOCIÉTÉ DE LA STATION ÉLECTRIQUE DE MILLERY, 2 bis, rue Eugène-Hugo, Nancy (Meurthe-et-Moselle).
 SOCIÉTÉ D'EXPLOITATION ET DE TRAITEMENT DES BOIS, 39, rue de Berri, Paris (8°).

Produits chimiques.

SOCIÉTÉ D'ELECTRO-CHIMIE, 2, rue Blanche, Paris (9°).

Ressorts.

COLLET ET C^{ie} (Acieries Ed. Monnier), 7, rue Mont-Louis, Paris (11°).

Roulements à billes.

COMPAGNIE D'APPLICATIONS MÉCANIQUES, 15, avenue de la Grande-Armée, Paris (16°).
 SOCIÉTÉ S. K. F., Bois-Colombes (Seine).
 USINES DE ROULEMENTS A BILLES, J. SCHMID-ROOST, Annecy (Haute-Savoie).

Ventilateurs et Machines soufflantes.

CADIOT (Marcel), 31, rue de Maubeuge, Paris (10°).
 COMPAGNIE ELECTRO-MÉCANIQUE, 12, rue Portalis, Paris (8°).
 CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES, 22, quai de la Bataille, Nancy (Meurthe-et-Moselle).
 L. COUFFINHAL, Saint-Etienne (Loire).
 GRAMME (Société), 26, rue d'Hautpoul, Paris (19°).
 LEFLAIVE ET C^{ie} (Forges et Ateliers de la Chaléassière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8°).
 MATABON, 149, avenue Thiers, Lyon (Rhône).
 OERLIKON (Société), 15, rue de Milan, Paris (9°).
 RATEAU (Société), 40, rue du Colisée, Paris (8°).
 SAUTTER-HARLÉ (Anciens Etablissements), 26, avenue de Suffren, Paris (15°).
 SCHNEIDER ET C^{ie}, 42, rue d'Anjou, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 32, rue de Lisbonne, Paris (8°).
 SOCIÉTÉ DES ATELIERS ÉLECTRIQUES DE SAINT-OUEN, Saint-Ouen (Seine).
 THOMSON-HOUSTON (C^{ie} française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9°).

DIVERS

Assurances.

F. PIEL (gendre) ET J.-A. LIÈVRE, 27, rue de Châteaudun, Paris (9°).
 LE SOLEIL, 23, rue de Mogador, Paris (9°).

Banques

BANQUE ANGLO-SUD AMÉRICAINE, 19, rue Scribe et 33, boulevard Haussmann, Paris (8°).

Bureaux d'études.

BETTCHER, fils, 39, boulevard Saint-Martin, Paris (10°).
 DEGROOTE, 109, rue et place Lafayette, Paris (10°).

Fournitures pour Bureau

UNDERWOOD, 36, boulevard des Italiens, Paris (9°).

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 1.

7 JANVIER 1922.

Chronique. — Société des Amis de la Télégraphie sans fil. — Sur la fixation de la valeur marchande des charbons en fonction de leur capacité productive d'énergie électrique. — Sur la commande à distance d'appareils au moyen de signaux émis par les centrales électriques. — Election de M. Zeeman comme membre correspondant de l'Académie des Sciences. — Nécrologie : Louis Parenty, p. 1-2.

Section scientifique et technique. — Recherches sur les courants vagabonds et sur l'électrolyse produite par ces courants, p. 3. — Revues, analyses et informations : Sur les régimes hydrauliques, p. 5; Comparaison des processus d'ionisation qui donnent naissance à des courants dans les gaz, p. 7; L'émission de lumière et l'ionisation produite par le bombardement électronique dans l'hélium pur et impur, p. 8; Sur les progrès de la télégraphie sans fil, p. 9.

Section industrielle. — La transmission d'énergie Seira-Barcelone de la Société catalane du Gaz et de l'Électricité à Barcelone, par J. REYVAL, p. 11. — Revues, analyses et informations : Réchauffage et production d'eau d'alimentation par la vapeur d'échappement des turbines auxiliaires, p. 31; Compensateur de phase à excitation shunt, p. 33.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Banque française pour le Commerce et l'Industrie, p. 35; Société norvégienne de l'Azote et de Forces hydroélectriques, p. 35.

Section de législation. — Conseils pratiques pour la rédaction du cahier des charges des distributions communales, cahier des charges-type du décret du 28 juin 1921, article 27, par Paul BOUGAULT, p. 37.

Société des Amis de la Télégraphie sans fil. — On nous annonce la fondation d'une société nouvelle qui a pris le nom de « Société des Amis de la Télégraphie sans fil ».

Cette société a pour objet de contribuer à l'avancement de la radiotélégraphie théorique et appliquée ainsi qu'à celui des sciences et industries qui s'y rattachent. Elle y parviendra notamment par la publication d'un bulletin qui s'est assuré la collaboration des meilleurs techniciens de la radiotélégraphie française.

Le niveau de ce bulletin sera au moins aussi élevé que celui des meilleures revues techniques françaises ou étrangères. On y laissera néanmoins une place pour des articles à l'usage des radiotélégraphistes amateurs. Le service en sera fait gratuitement aux adhérents de la Société.

La Société des Amis de la Télégraphie sans fil cherche en même temps à entretenir entre ses membres des liens de solidarité et des relations suivies.

A cet effet, elle tiendra des réunions destinées à l'exposition et à la discussion des questions concernant la radiotélégraphie.

La première de ces réunions aura lieu le jeudi 26 janvier à 21 heures dans l'amphithéâtre de physique de l'Ecole Polytechnique (entrée 21, rue Descartes).

Elle sera présidée par M. Paul Laffont, sous-secrétaire d'Etat des Postes, Télégraphes et Téléphones.

Le programme de cette première réunion sera le suivant :

Discours de M. Paul Laffont,

Conférence de M. le général Ferrié avec projections cinématographiques et ordinaires, et expériences de télégraphie sans fil.

Un concert par téléphonie sans fil clôturera la séance.

Des cartes d'invitation pourront être demandées à M. le Commandant Cornu, secrétaire général de la société, 102 bis, rue Didot (XIV^e arrondissement), Saxe 21-22) qui donnera également tous renseignements sur les statuts et conditions d'admission.

Les membres adhérents sont invités de droit.

Sur la fixation de la valeur marchande des charbons en fonction de leur capacité productive d'énergie électrique. — Nous recevons à ce sujet la lettre suivante de M. Mathivet, auteur de la note parue sous ce titre dans le numéro du 1^{er} octobre 1921, t. X, p. 437-439.

Je lis dans votre numéro du 17 décembre, les observations que M. Martin veut bien faire à ma note sur le mode de fixation de la valeur marchande des charbons.

Je n'ai, naturellement, pas eu la prétention de traiter, dans une note aussi succincte, tous les cas qui pouvaient se présenter; je n'ai voulu que poser un principe et je vois que non seulement M. Martin est d'accord sur le principe des

essais que je propose de faire, mais encore qu'il étend ce principe à toutes les industries qui emploient le charbon.

Il y aura certainement des corrections à apporter, mais ce que je demande c'est qu'on échappe enfin à l'arbitraire dont nous souffrons et je suis sûr que, si des essais réguliers et officiels sont entrepris dans les grandes centrales comme dans les usines métallurgiques, nous aurons des bases d'appréciation qui ont manqué jusqu'ici aux fonctionnaires de l'Etat qu'on avait chargés de tarifier les combustibles.

Toutefois, il ne faut pas croire que le fait d'indiquer à la clientèle des mines, par des essais rationnels, la qualité des charbons qu'elle doit lui demander suffira à résoudre le problème qui nous occupe : ces essais n'auront de valeur que s'ils sont sanctionnés par un prix consacrant le résultat obtenu avec chaque sorte de combustible.

Je demande donc à M. Martin de joindre ses efforts aux miens et je suis certain qu'une fois la commission d'étalonnage réunie, nous nous mettrons vite d'accord sur les modalités de son action.

Veuillez agréer, etc.

Sur la commande à distance d'appareils au moyen de signaux émis par les centrales électriques. — Dans le précédent numéro nous rappelions, page 937, à la suite de la reproduction d'une lettre de M. Turpain, que la question de la commande d'appareils placés chez les abonnés d'une distribution d'énergie électrique au moyen de signaux émis par la centrale avait déjà été l'objet d'un article de M. Trichard publié dans ces colonnes en 1918.

Au sujet de cet article, M. A. Turpain nous écrit la nouvelle lettre qui suit :

Je vous signalais dans une récente lettre les brevets Renous et Turpain à propos des expériences de M. Allain Launay à la Société française des Electriciens (7 décembre 1921) sur la tarification mobile. En réponse, vous appelez mon attention sur l'article paru le 18 mai 1918 (*R. G. E.*, t. III, n° 20, p. 275) sous la signature de M. Trichard. Absorbé par les diverses activités que m'imposait l'état de guerre, je n'ai pu suivre régulièrement la « *R. G. E.* » en 1918 et viens seulement d'y lire l'article de M. Trichard. La vérité m'oblige à rectifier ce qu'indique cet ingénieur dans l'aperçu historique placé en tête de son article.

C'est au cours, puis à la suite de l'obtention de nos brevets (Brevets J. Renous et A. Turpain n° 313829 du 31 août 1901), que des expériences furent faites à Bordeaux, tout d'abord sur le réseau que dirigeait et possédait M. Renous (secteur Bordeaux-les Chartrons); puis, plus tard, vers la fin de 1901, sur un autre secteur bordelais que dirigeait M. C.-F. Baudry, dont la société venait de s'établir à Bordeaux. Les expériences faites au moyen des ondes électriques donnèrent toute satisfaction, mais comme l'entretien des oscillateurs hertiens et des bobines de Ruhmkorff, y relatives, était alors peu familier au personnel, j'ai moi-même suggéré de substituer aux ondes, sur le réseau continu 110 v, trois fils, sur lequel j'expérimentais, le courant

alternatif, tout en prévoyant que ce mode, imité de celui préconisé par MM. Brown et Routin en 1897, troublerait inmanquablement le réseau téléphonique bordelais à cette époque encore à très nombreuses prises de terre. Et, en effet, au bout de peu de mois l'Administration des Postes, Télégraphes et Téléphones interdisait la continuation des essais, dont elle ne s'était pas émue tant que les émissions destinées à la tarification mobile étaient restées purement hertiennes.

Veuillez agréer,

Election de M. Zeeman comme membre correspondant de l'Académie des Sciences. — Dans sa séance du 19 décembre 1921, l'Académie des Sciences de Paris a élu, à l'unanimité de 45 votants, M. G. Zeeman comme correspondant, en remplacement de M. Righi, décédé.

M. Zeeman est professeur à l'Université d'Amsterdam et lauréat du prix Nobel. Parmi ses diverses études relatives à la Physique, il en est une qui est bien connue des électriciens : c'est celle concernant l'action d'un champ magnétique sur la radiation d'un corps lumineux, qui, il y a bientôt trente ans, l'a conduit à la découverte du phénomène qui porte son nom.

Nécrologie : Louis Parenty. — Le 16 décembre 1921 est mort un ingénieur, Louis Parenty, dont les travaux scientifiques sur les fluides gazeux et liquides ont trouvé maintes applications industrielles dans les chaufferies et dans les installations hydrauliques.

Né à Arras le 8 avril 1851, Louis Parenty entra à l'Ecole Polytechnique en 1870 et en sortit dans le corps des ingénieurs des Manufactures de l'Etat. A la fin de sa carrière, il était directeur de la Manufacture de Tabacs de Lille où, durant l'occupation allemande, il se fit remarquer par la fermeté de son attitude en face de l'envahisseur; après la guerre, en 1918, il prit sa retraite. Depuis 1914, il était correspondant de l'Académie des Sciences dans la section de Mécanique.

A la suite de ses recherches sur les fluides, il imagina un compteur de vapeur (1886) basé sur la perte de charge subie par la vapeur à travers un orifice convergent; des compteurs à gaz, utilisant le même principe et présentant l'intérêt de fonctionner sous de très faibles pressions, ne tardèrent pas à suivre la précédente invention.

Deux autres conséquences de ces recherches furent le jaugeur automatique de l'eau s'écoulant dans les rivières et les canaux découverts et le régulateur-répartiteur d'eau pour les irrigations. Ces appareils ont reçu une application importante en Egypte, à Port-Saïd, pour la mesure du débit des filtres d'assainissement des eaux du Nil; une application semblable fonctionne en France pour les eaux d'égout.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Recherches sur les courants vagabonds et sur l'électrolyse produite par ces courants

Dans le but de déceler les courants vagabonds et de se rendre compte des effets d'électrolyses qu'ils produisent dans la terre, MM. James Chappuis et Hubert-Desprez ont imaginé différentes méthodes et, en particulier, un dispositif permettant d'étudier commodément les effets de ces courants, tout en restant dans des conditions semblables à celles que l'on rencontre en pratique. Ces méthodes, qui ont fait l'objet de deux notes présentées à l'Académie des Sciences ⁽¹⁾, sont décrites dans l'article ci-dessous.

I. Les courants vagabonds sont des courants dérivés dans le sol provoqués par les défauts d'isolement des réseaux de distribution d'énergie électrique et, en particulier, à Paris, des réseaux de transport en commun qui emploient du courant continu à 550 v. Ces courants vagabonds suivent, pour faire retour à l'usine où se trouve la génératrice, les canalisations souterraines de gaz, d'eau et d'air comprimé, qui peuvent leur offrir un chemin de moindre résistance. En quittant ces conduites métalliques, les courants y causent de graves dégâts; ils entraînent en effet le métal et déterminent des perforations à travers lesquelles les fluides contenus dans les canalisations peuvent s'échapper.

Il n'existe jusqu'ici, à notre connaissance, aucune méthode précise permettant de reconnaître indiscutablement la machine qui a donné naissance au courant vagabond, et cependant la solution de ce problème présenterait un intérêt non seulement au sujet de la recherche des responsabilités, mais aussi parce que, connaissant la source du mal, on pourrait y porter remède en vérifiant les isollements dont la défectuosité serait ainsi nettement signalée. Nous avons entrepris sur ce sujet, au Laboratoire d'électricité de la Société du Gaz de Paris, des expériences dont nous donnons les premiers résultats.

II. Quand on recueille un courant vagabond dans le circuit d'un écouteur téléphonique ordinaire, par l'intermédiaire d'un transformateur, on entend un bruit de friture dans lequel, avec un peu d'attention, on peut discerner des sons divers correspondant soit aux variations brusques d'intensité du courant employé par les moteurs du tramway, soit aux variations de vitesse du moteur. Cette première expérience nous a donné l'idée de chercher à sélectionner le son produit par les balais sur le collecteur de la génératrice à l'usine.

Il se produit, en effet, pendant la rotation de cette

machine, un phénomène mécanique périodique résultant du frottement des balais sur les lames du cuivre et sur les isolants qui les séparent; on entend devant la machine un son dont le nombre de vibrations N est le produit du nombre des lames du collecteur par le nombre de tours de la machine à la seconde. Mais on sait qu'il se produit en même temps, dans le courant donné par la dynamo, de faibles ondulations dont le nombre est aussi égal à N . Ces ondulations produisent au téléphone un son qui doit faire partie du bruit de friture perçu avec le courant vagabond.

En recevant ce courant ondulatoire dans un dispositif téléphonique comprenant un amplificateur à résonance, construit spécialement pour que les vibrations de la self-induction et de la capacité permettent de réaliser la syntonie pour des fréquences de 100 à 4 000, on arrive à entendre le son de N vibrations de la machine génératrice et à l'isoler du bruit général de friture.

Nous avons opéré sur deux machines S_1 , S_2 caractérisées par des nombres $N_1 = 928$ et $N_2 = 3240$; nous avons provoqué des pertes à la terre et recueilli les courants vagabonds correspondants dans lesquels nous avons reconnu, à l'écouteur, les sons N_1 , N_2 , dont nous avons déterminé les valeurs numériques par une méthode spéciale comportant un enregistrement graphique. L'expérience montre donc qu'il y a dans cette première méthode une solution du problème de la recherche de la source des courants vagabonds. Mais cette solution nous a paru insuffisante parce qu'il existe certainement sur les réseaux de Paris un très grand nombre de génératrices pour lesquelles les nombres N diffèrent assez peu les uns des autres, de sorte qu'une confusion est possible.

III. Nous avons alors, à la suite des résultats satisfaisants de ces premières recherches, pensé qu'il serait possible de superposer au courant principal de la génératrice des perturbations d'ordre électrique, qui devaient être du même ordre de grandeur que ces

⁽¹⁾ *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 14 novembre 1921, t. CLXXIII, p. 912-913 et 19 décembre 1921, t. CLXXIII, p. 1344-1347.

ondulations, de façon qu'on puisse les recueillir dans le dispositif téléphonique récepteur aussi facilement que le son *N*.

A cet effet, nous avons employé une lampe d'émission à trois électrodes dont le circuit-plaque se trouve en dérivation aux bornes de la machine de l'usine tandis que la grille reçoit, par l'intermédiaire d'un transformateur, des courants provenant soit d'un manipulateur Morse, ou, de préférence, d'un microphone. En réglant comme il convient les divers circuits de la lampe, les perturbations causées par des variations de potentiel de la grille déterminent dans le courant-plaque des variations d'intensité qui se retrouvent dans le circuit principal de la machine et dans toutes ses dérivations et, en particulier, dans celles qui constituent les courants vagabonds. En produisant à volonté des courants vagabonds de très faible intensité avec les machines *S*₁ ou *S*₂ nous avons pu entendre les signaux Morse, un sifflet et enfin la parole; l'application du dispositif d'émission n'a donné de résultat positif que sur celle des deux machines qui provoquait le courant vagabond. Ce dispositif permet donc de reconnaître et de signaler toute génératrice source de courant vagabond.

IV. Les perforations observées dans une canalisation souterraine, en fer ou en plomb, s'expliquent par l'effet électrolytique produit par les courants vagabonds lorsque cette canalisation joue le rôle d'anode, c'est-à-dire est positive par rapport aux conducteurs voisins ou par rapport au sol dans lequel elle est enfouie.

On peut aussi tenter d'expliquer ces dégâts par une action chimique dans laquelle on ferait intervenir des couples locaux dus aux impuretés du métal des canalisations.

Le choix entre ces deux causes présente une grande importance, tant au point de vue de l'établissement des responsabilités qu'au point de vue des méthodes à employer pour en éviter les effets; il semble qu'une observation attentive de la perforation, des produits de l'attaque du métal et de leur distribution sur la canalisation et dans le sol avoisinant, permettra de choisir entre ces deux hypothèses.

V. Nous avons entrepris, dans ce but, des expériences d'électrolyse dans la terre; les premiers essais réalisés dans des cuves électrolytiques quelconques remplies de sable ou de terre prélevée dans le sol de la ville, tout en nous donnant déjà de précieuses indications, nous ont montré que la principale difficulté provenait de l'incertitude où l'on était sur le choix des points où il était utile de prélever des échantillons pour analyse.

Des résultats déjà plus satisfaisants ont été obtenus en employant des cuves plates en verre dont les faces parallèles étaient à environ 3 cm l'une de l'autre; il était alors possible d'observer une véritable coupe du terrain où se voyaient des couches de couleurs variées entre l'anode et la cathode; des prélèvements effectués

dans chacune de ces couches permettaient d'en reconnaître la nature.

VI. — Nous avons enfin imaginé une méthode qui nous a donné des résultats beaucoup plus complets; elle consiste à examiner aux rayons X les effets électrolytiques du courant traversant de la terre ou de la sciure de bois contenues dans une cuve en bois.

Ce mode d'investigation nous permet de suivre, d'une façon pour ainsi dire ininterrompue, la marche du phénomène et de prendre des photographies de toutes les phases intéressantes; l'ouverture d'une des faces de la cuve en bois permet ensuite l'observation directe de l'état des électrodes et de la distribution dans le sol des produits de l'attaque de l'anode; les analyses à faire sont en quelque sorte imposées et par la lecture des photographies et par l'observation directe qui se contrôlent; toutes ces opérations sont rendues des plus faciles par ce dispositif expérimental.

VII. Nous avons employé cette méthode à l'étude de l'électrolyse avec des électrodes de cuivre, de fer et de plomb; l'électrolyte qui imbibait le sol artificiel était un sel du même métal ou une dissolution de chlorure de sodium.

Nous avons appliqué également cette méthode à l'étude d'une pile Daniell dont les cuves remplies de terre étaient imbibées respectivement de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc; on peut, de cette façon, observer les phénomènes qui se produisent dans les piles comprenant des solides poreux imprégnés de liquides et, enfin, nous avons mis en observation un prisme en ciment armé.

Ces expériences nous ont montré que, d'une façon générale, l'électrolyse réalisée dans le sol se comporte très différemment de l'électrolyse dans un liquide; nous prendrons comme premier exemple les résultats obtenus avec le cuivre.

Dans l'électrolyse du sulfate cuivrique, SO_4Cu , avec des électrodes de cuivre, la variation de poids de la cathode est toujours très inférieure à celle de l'anode; les premières traces de métal déposé touchent la cathode sans y adhérer très fortement, puis il y a *cheminement du métal de la cathode vers l'anode jusqu'à mise en court-circuit*; c'est ce que montre la figure 1 relative à cette électrolyse dans une terre contenant des cailloux; l'anode est entourée de sulfate cuivrique solide.

La figure 2 montre les effets de l'électrolyse dans une terre imbibée de chlorure de sodium, les électrodes étant en cuivre; il se forme autour de la cathode, qui reste invariable, une dissolution de soude mélangée de chlorure de sodium.

L'anode est entourée d'une couche blanche de chlorure cuivreux CuCl , puis d'une couche verte de chlorure cuivrique CuCl_2 ; la solution de ce sel se diffuse à travers le sol et vient vers le milieu de la cuve en contact avec la solution de soude; il se fait un dépôt d'hy-

drate de cuivre figuré par la première courbe dessinée entre l'anode et la cathode: il semble alors que ce dépôt serve de *cathode intermédiaire*, car il s'y forme du cuivre métallique provenant de l'électrolyse du

chlorure cuivrique dissous et l'on assiste au cheminement, comme dans l'expérience précédente; des courbes nouvelles prennent naissance entre la première apparue et l'anode, jusqu'à ce qu'elles viennent en con-

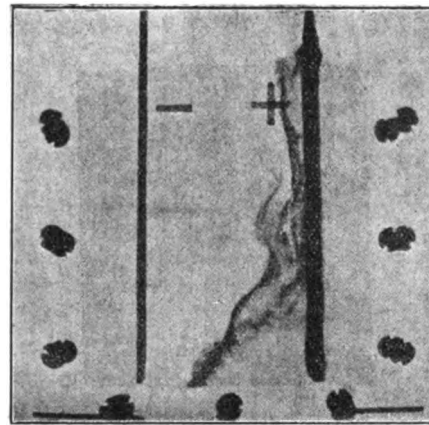
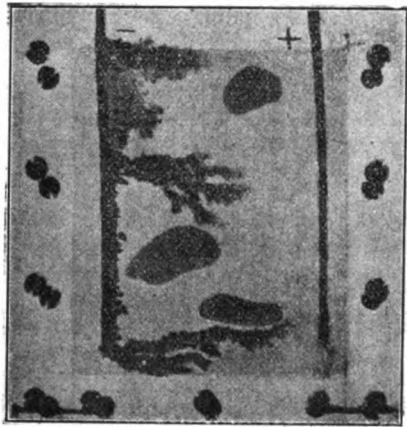


Fig. 1 et 2.

tact avec l'anode; toutes sont formées, de même que la première, d'hydrate de cuivre parsemé de cuivre métallique.

Le développement de ces deux expériences a pu être suivi d'une façon ininterrompue par l'observation directe et par la photographie à l'aide des rayons X.

Revue, analyses et informations

Sur les régimes hydrauliques ⁽¹⁾.

Poursuivant ses études sur les régimes hydrauliques dans les chambres d'eau, M. CAMICHEL vient de présenter à l'Académie des Sciences deux nouvelles notes à ce sujet. Ce sont ces deux notes que nous reproduisons ci-après.

La présente note se rapporte à l'étude expérimentale des divers régimes de l'eau dans les tubes cylindriques.

I. J'ai montré précédemment ⁽²⁾ l'existence, dans les chambres d'eau, d'un régime hydraulique auquel j'ai donné le nom de *régime hydraulique non turbulent*, et qui est caractérisé par ce fait qu'en chaque point de la masse fluide, la vitesse est constante en grandeur et en direction. Ce régime se produit pour des vitesses de l'ordre de celles que l'on rencontre dans les applications industrielles. Pour préciser les circonstances dans lesquelles il prend naissance, j'ai recommencé les expériences bien connues de MM. Osborne Reynolds et Couette, et j'ai constaté que le régime non turbulent que ces auteurs ont mis en évidence dans les tubes pour de faibles vitesses se produit pour des vitesses beaucoup plus élevées, à condition de réduire convenablement la longueur des tubes et de les munir de pavil-

lons de formes appropriées. On constate la régularité, soit par la transparence de la veine à la sortie du tube, soit encore, d'une façon beaucoup plus précise, par l'observation des filets liquides, au moyen de la méthode précédemment indiquée ⁽¹⁾. Par exemple, on obtient le régime non turbulent pour des vitesses de 4 m : s dans un tube de laiton ayant comme diamètre intérieur 18 mm et comme longueur totale 16 cm.

D'une façon générale, on peut dire que pour conserver le régime non turbulent, il est nécessaire d'éliminer les obstacles placés aux points où la vitesse est notable et de donner à l'eau un trajet aussi court que possible dans les espaces resserrés ⁽²⁾; c'est une des raisons de l'emploi dans les turbines modernes de rotors constitués par des aubes très courtes dans le sens du mouvement de l'eau et à travers lesquelles on voit parfois le jour. Ces aubes diffèrent essentiellement de celles qu'on employait dans les turbines anciennes et dans lesquelles l'eau avait un trajet parfois très long à parcourir en restant en contact avec les aubes.

II. J'ai étudié le régime non turbulent dans des tubes de laiton; ces tubes avaient 6 mm de diamètre intérieur et leurs longueurs cylindriques étaient : 6 cm, 8 cm, 10 cm.

⁽¹⁾ *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 17 octobre 1921, t. CLXXIII, p. 630-632; 28 novembre 1921, t. CLXXIII, p. 1 061-1 063.

⁽²⁾ *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 3 mai 1920, t. CLXX, p. 881-986; *R. G. E.*, 29 mai 1920, t. VII, p. 726.

⁽¹⁾ *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 3 mai 1920, t. CLXX, p. 881.

⁽²⁾ M. Rateau m'a signalé qu'il avait fait des remarques analogues dans ses recherches sur les fluides gazeux.

Ils donnent facilement le régime hydraulique non turbulent pour des vitesses moyennes de 10 m : s, tandis que, d'après les idées généralement admises, le régime turbulent devrait s'y produire pour des vitesses dépassant 1 m : s.

La pression p était mesurée en un point situé, suivant le tube, à 5 cm, 7 cm, 9 cm de l'extrémité plongeant dans l'atmosphère. Si l'on désigne par W la vitesse moyenne dans le tube, la formule

$$p = KW^m \quad (1)$$

représente bien les résultats obtenus pour W variant de 0 à 10 m : s; on trouve $m = 1.49$ à la température de 17° C.

L'observation de la veine à la sortie et la régularité des courbes obtenues prouve que le régime est bien défini.

III. M. Rateau a montré (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, juin 1909) l'existence de divers régimes turbulents. J'ai eu l'occasion de faire des observations analogues pour les liquides; en plaçant des grilles devant le pavillon des tubes précédents, j'ai obtenu différents régimes turbulents. Je citerai en outre l'expérience suivante :

En supprimant le pavillon que possède le tube à son extrémité amont et le remplaçant par un tube cylindrique de 6 cm de longueur, ayant le même diamètre intérieur (6 mm) que le tube étudié, on obtient le régime turbulent. la veine devient trouble; la pression est encore représentée par la formule (1), mais le coefficient m a la valeur

$$m' = 1.8$$

à la température de 17° C. La régularité de la courbe obtenue montre qu'on a bien affaire à un régime défini.

Pour ce même tube cylindrique de 10 cm de longueur et de 6 mm de diamètre intérieur, et pour une même vitesse de 5.30 m : s par exemple, la pression mesurée sur 9 cm de longueur passe de 26.7 cm, à 48.8 cm, augmente par conséquent de près de 100 pour 100 suivant le trajet antérieur de l'eau.

Cette remarque est tout à fait générale. J'ai eu l'occasion de vérifier fréquemment cette *interdépendance des diverses portions d'une installation hydraulique*. Elle permet d'expliquer les discordances des résultats obtenus par les divers expérimentateurs, par exemple, en ce qui concerne les pertes de charge d'une conduite. Il ne suffit pas, en effet, de préciser les conditions dans lesquelles cette conduite est aménagée, il faut également définir le régime sur lequel on opère et qui dépend, en particulier, du trajet de l'eau en amont de la conduite. On pourrait multiplier les exemples : une turbine peut avoir son rendement modifié par tel dispositif placé en amont.

Il conviendrait donc de définir, dans chaque cas particulier, le degré de turbulence du régime. Par exemple dans les conduites, où la perte de charge par unité de longueur ζ est représentée en fonction de la vitesse par une expression de la forme $\zeta = kW^{\alpha}$ (comme l'expérience paraît le vérifier), on pourrait définir le degré de turbulence par l'expression

$$\alpha = \frac{\alpha'}{\alpha} - 1.$$

α étant l'exposant minimum correspondant au régime non turbulent, α' l'exposant relatif au régime que l'on veut définir.

On sait depuis Stokes que l'hypothèse de la continuité est absolument incapable de représenter, même grossière-

ment, le mouvement des fluides parfaits, dans le cas d'un obstacle fixe placé dans un courant rectiligne uniforme indéfini, et qu'elle conduit à des paradoxes tels que celui de d'Alembert. Comme l'ont montré pour la première fois Helmholtz et Kirchhoff, il est indispensable d'envisager des surfaces de discontinuité des vitesses (surface de glissement) que la représentation conforme permet de calculer dans certains cas particuliers.

Dans l'étude des régimes hydrauliques, j'ai eu l'occasion de produire de pareilles surfaces de discontinuité.

I. Dans un ajutage formé par un tube rectangulaire vertical ayant 43 cm de longueur et une section de 8.8 cm \times 3.15 cm, fixé sur le fond d'une chambre d'eau, j'ai d'abord réalisé un champ de vecteurs vitesses verticales, constantes dans la plus grande partie de la section. J'ai placé ensuite, à l'intérieur de l'ajutage, à 32 cm du fond de la chambre d'eau et normalement aux grandes parois, des obstacles formés par des cylindres de formes diverses : palettes, tiges circulaires, etc. En employant la méthode déjà signalée, j'ai pu observer et photographier des surfaces de discontinuité, qui sont très nettes jusqu'à une distance de 2 cm à 3 cm en aval de l'extrémité inférieure de l'obstacle.

À l'extérieur de la surface de discontinuité se trouve réalisé le régime non turbulent, à l'intérieur (sillage) prennent naissance des tourbillons et la pression moyenne s'y répartit, au voisinage de l'obstacle, suivant la loi hydrostatique. Ce résultat a été vérifié en employant comme corps immergé un tube cylindrique à base circulaire de 8 mm de diamètre, percé d'un trou de 1 mm. En faisant tourner le cylindre autour de son axe, on peut déterminer la répartition des pressions sur sa surface.

Voici quelques nombres relatifs à une expérience dans laquelle la vitesse moyenne de l'eau était de 1.35 m : s α désigne l'angle de la verticale et du rayon aboutissant au centre de l'orifice de 1 mm.

| Indication du manomètre en centimètres d'eau. | | T = 13° C. |
|--------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------|
| α | | |
| 0..... | 77.2 | } Indication du manomètre constante. |
| 30..... | 72.2 | |
| 60..... | 61.8 | |
| 90..... | 61.25 | |
| 120..... | 61.4 | |
| 150..... | 61.3 | |
| 180..... | 61.25 | |

La répartition est symétrique. En déterminant sur la photographie le point où la surface de discontinuité se détache de l'obstacle, on vérifie que l'indication du manomètre devient constante à partir de ce point.

II. Le manomètre employé dans ces expériences comprend une série de boîtes métalliques plates ondulées, dont le mouvement est amplifié par un système optique comprenant un miroir et une échelle translucide. Cet appareil a le grand avantage de suivre les régimes, pourvu qu'ils durent au moins 0.5 seconde. Combiné avec la méthode optique, il s'applique tout particulièrement à l'étude des régimes dans les conditions d'instabilité comme celles que M. Rateau a mises en évidence pour les fluides gazeux, et MM. Reynolds et Couette pour les liquides.

J'ai pu ainsi observer que d'une façon générale, dans les tubes, ayant par exemple 13.5 mm de diamètre intérieur et 2 m de longueur et pour des vitesses de 1 m à 2 m : s, le

régime non turbulent se produit de préférence dans les premières secondes qui suivent l'ouverture du tube. En régime turbulent, le manomètre paraît mettre en évidence l'existence de régimes distincts.

III. Les pressions à la proue et à la poupe (sillage) du corps immergé sont bien définies ; elles le sont moins bien dans la région où la surface de discontinuité se détache de la surface du corps immergé.

Il en résulte que dans l'emploi du tube de Pitot tel que M. Bazin l'a utilisé dans ses études sur la répartition des vitesses dans les nappes des déversoirs, et qui est formé d'un couteau immergé dans le courant d'eau, il serait préférable de déterminer les pressions à la proue et à la poupe, au lieu de les mesurer à la proue et latéralement. Le tube de Pitot peut alors présenter une réelle précision.

IV. Il reste à étudier la répartition des vitesses autour du corps immergé et la zone de sillage. Je signale seulement le fait qu'à la suite du sillage, à une distance suffisante du corps immergé, on constate la production d'un régime turbulent ; à l'extérieur de la surface de discontinuité, on a, comme je l'ai déjà dit, le régime hydraulique non turbulent. On peut dire que dans une masse d'eau en mouvement, on a, d'une façon générale, la coexistence du régime hydraulique turbulent et du régime hydraulique non turbulent.

Comparaison des processus d'ionisation qui donnent naissance à des courants dans les gaz (1).

La vérification expérimentale de la théorie de l'ionisation par collision, due à Townsend, repose principalement sur la comparaison entre les courants obtenus entre plaques parallèles avec la formule qui donne la valeur de ces courants, en supposant que tous les nouveaux ions sont produits dans le gaz par collisions des électrons ou des ions positifs avec les molécules du gaz.

En vue de déterminer dans quelle mesure la théorie du quantum de radiation peut être appliquée aux effets produits par collisions avec les molécules, un grand nombre d'expériences ont été faites récemment pour déterminer le potentiel minimum nécessaire pour ioniser une molécule de gaz par collision, et le potentiel minimum nécessaire pour exciter l'émission de lumière par impacts entre électrons et molécules ; cette lumière émise ainsi ayant en outre la propriété de libérer des électrons d'une électrode métallique. On a trouvé que le potentiel d'émission est plus petit que le potentiel d'ionisation, de sorte que dans beaucoup de cas pour lesquels les courants additionnels ont été attribués aux ions produits dans le gaz, on pourrait penser qu'une forte proportion des électrons additionnels étaient en réalité libérés de l'électrode négative par la lumière provenant des molécules du gaz. Lorsque de la lumière ultra-violetle d'une source extérieure tombe sur l'électrode négative, on obtient un courant constant, ou courant de saturation, lorsque le champ électrique atteint certaines valeurs. Cependant, des accroissements de courant importants résultent de l'application de champs sensiblement plus intenses : et la question se pose de savoir si un nombre appréciable des électrons additionnels qui produisent ces courants plus intenses ne proviennent pas de l'électrode négative.

Si les électrons additionnels étaient libérés de l'électrode négative par la lumière rayonnée par le gaz, le rapport de l'intensité du courant produit par des champs élevés aux

courants de saturation dépendrait de la sensibilité photoélectrique de l'électrode, et on obtiendrait de grandes variations de ces rapports en modifiant l'état de la surface ou changeant le métal de l'électrode.

L'auteur a donc fait des expériences avec des métaux d'activités diverses.

En appelant X le champ électrique et p la pression du gaz, pour les plus petites valeurs du rapport $\frac{X}{p}$ les courants entre plaques parallèles sont donnés par la relation $n = n_0 e^{\alpha x}$ où x est le nombre de paires d'ions produites par chaque électron sur 1 cm de longueur, x la distance entre les plaques, $\frac{n}{n_0}$ le rapport entre le courant qui correspond au champ appliqué et le courant de saturation.

Cette équation est obtenue en supposant que l'ionisation initiale à la surface de l'électrode négative est entièrement due à la source extérieure de lumière ultra-violetle. Si une partie de l'ionisation résulte de la lumière propre du gaz, l'équation ne sera pas exactement vérifiée et, en particulier, les valeurs de α dépendront du choix de l'électrode négative.

Les valeurs de α ayant été précédemment mesurées avec des plaques de zinc, une expérience préliminaire fut faite en se servant d'une plaque de cuivre comme électrode négative.

On a appliqué à ces mesures la méthode déjà employée pour la mesure de α . Et les résultats obtenus ont été les suivants :

| | | | | |
|---------------------|--------------------------------|------|-----|------|
| | $\frac{X}{p} \rightarrow$ | 100 | 200 | 300. |
| Electrode de cuivre | $\frac{\alpha}{p} \rightarrow$ | 0,69 | 2,7 | 4,4. |
| Electrode de zinc | $\frac{\alpha}{p} \rightarrow$ | 0,72 | 2,6 | 4,4. |

On voit qu'il y a, dans la limite des erreurs expérimentales, concordance entre les valeurs de $\frac{\alpha}{p}$ relatives au cuivre, et celles qui correspondent au zinc. Et pourtant, nous allons voir qu'il y a une différence notable entre les sensibilités photoélectriques de ces deux métaux.

Pour préciser ces résultats, l'auteur construit alors un appareil spécialement approprié au but envisagé.

L'appareil est formé d'une plaque inférieure percée d'un trou légèrement excentré pour le passage des rayons ultra-violets, et garni d'une fine toile métallique de façon à maintenir l'uniformité du champ. La plaque supérieure, parallèle à la première, pouvait tourner autour d'un axe vertical et était composée de trois secteurs l'un en cuivre, l'autre en zinc, le troisième en fer. On pouvait dès lors disposer chaque métal à son tour en face du trou de la plaque inférieure sans rien changer aux autres conditions expérimentales. La lumière ultra-violetle parvenait au système à travers une fenêtre de quartz. La distance entre les plaques était de 4 mm. On comparait les courants obtenus, selon le métal, en appliquant différentes tensions entre les plaques.

Les principales expériences ont été faites avec le zinc et le cuivre, pour lesquels les effets photo-électriques sont très différents (de 17 à 25 fois plus grand pour le zinc que pour le cuivre).

Voici les résultats obtenus :

| | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----|------|------|------|
| | Tension \rightarrow | 20 | 40 | 80 | 200 |
| Courants, $\left\{ \begin{array}{l} \text{Cuivre} \\ \text{Zinc} \end{array} \right.$ | \rightarrow | 90 | 98,8 | 148 | 1480 |
| | \rightarrow | 5 | 5,7 | 8,7 | 83 |
| | Rapport \rightarrow | 18 | 17,3 | 17,0 | 17,8 |

Ainsi, avec une même source de lumière ultra-violetle,

(1) E.-W.-B. GILL. *Phil. Mag.*, novembre 1921, t. XLII, p. 852-856, 1 800 mots, 3 tab.

les rapports des courants obtenus pour divers champs appliqués sont pratiquement les mêmes.

Les expériences montrent que l'ionisation produite dans un gaz par la lumière propre à celui-ci est certainement négligeable par rapport à l'ionisation ordinaire par collision de la théorie de Townsend. — L. B.

L'émission de lumière et l'ionisation produite par le bombardement électronique dans l'hélium pur et impur ⁽¹⁾.

Dans un précédent travail, les auteurs ont étudié les effets des collisions des électrons avec les atomes d'hélium. Ils ont montré que, dans l'hélium pur, un électron doué de l'énergie correspondant à 20,4 v peut provoquer l'émission de lumière d'un atome d'hélium qu'il vient choquer; que l'énergie mesurée par 25,6 v le rend capable d'ioniser l'atome d'hélium rencontré. Ces résultats ont été confirmés depuis. On a découvert, en outre, l'existence d'une deuxième tension d'émission de 0,8 v plus élevée que la première, et ce nombre s'accorde bien avec la différence à laquelle on doit s'attendre du fait de l'existence de deux systèmes de séries dans le spectre de l'hélium.

Dans un récent travail, Horton et Bailey ont montré que la présence dans l'hélium d'une légère trace d'impureté le rend capable d'être ionisé à 21 v, et ils ont trouvé que l'ionisation apparue n'est en réalité pas celle de l'hélium lui-même, mais de son impureté. Bohr a du reste indiqué qu'on pouvait s'attendre à un tel résultat, car l'ionisation de toutes les impuretés probables se produit au-dessus de 20,5 v, de sorte que la fréquence de la lumière rayonnée par l'hélium est assez élevée pour ioniser les impuretés pouvant être présentes dans le gaz.

Cependant, Compton et Goucher disent avoir observé l'ionisation et l'émission de l'hélium au-dessous de 20,4 v. Goucher attribue cette ionisation à la présence d'une impureté (hydrogène), Compton l'explique de son côté par un effet cumulatif résultant de l'impact d'électrons sur des atomes d'hélium qui ont déjà absorbé l'énergie correspondant à 20,4 v et il établit que le fait ne peut être expliqué par la présence d'une trace d'impureté.

Mais cette dernière affirmation est critiquable, car les expériences de Horton et Bailey ont montré que l'ionisation d'une impureté par les rayons dus à l'hélium peut être considérable, même lorsque la proportion de l'impureté est assez petite pour que les collisions entre ses atomes et les électrons ne produisent pas d'effet mesurable. C'est pourquoi les auteurs ne considèrent pas les expériences de Compton comme prouvant de façon concluante l'ionisation de l'hélium par des électrons dont l'énergie est inférieure à 25 v et qui résulterait d'impacts avec des atomes se trouvant dans des conditions anormales.

Plus récemment, Frank et Knipping obtiennent des résultats particulièrement intéressants vu leur relation avec les nouvelles théories sur la structure de l'atome d'hélium normal. A l'origine, Bohr supposait que les deux électrons de l'atome normal tournaient sur la même orbite autour du noyau, et il calculait l'énergie nécessaire pour arracher un de ces électrons, c'est-à-dire ioniser l'atome normal. Le nombre obtenu ainsi était supérieur au nombre expérimental, d'où la conclusion que le modèle de Bohr était incorrect. Les valeurs expérimentales des énergies requises pour provoquer l'émission et l'ionisation dans l'hélium, correspondent aux vibrations lumineuses de l'extrême ultra-violet, on évite ces difficultés en admettant l'existence de deux séries d'orbites extérieures indépendantes. Une des séries d'orbites est dans le même plan que l'orbite de l'électron non troublé, tandis que le plan de la seconde série d'orbites fait un certain angle avec ce plan. On a donné aux deux séries les noms de système *coplanaire* et de système *croisé*. L'existence de ces deux séries d'orbites, qui interprètent les deux séries principales du spectre d'émission de l'hélium, doit corres-

pondre à deux potentiels différents d'émission : pour l'un, c'est l'électron de l'atome normal qui est enlevé à la première orbite extérieure du système coplanaire, pour l'autre, l'électron est arraché à la première orbite extérieure du système croisé. La différence entre les deux tensions d'émission serait par suite égale à la différence entre les tensions liées par la formule du quantum avec les fréquences limites des deux séries principales des lignes de l'hélium. Ces tensions sont 4,78 et 3,98 v respectivement, de sorte que l'intervalle entre les deux énergies d'émission est mesuré par 0,8 v. C'est précisément ce qu'ont trouvé expérimentalement Franck et Knipping. D'après les calculs de Landé, c'est le système de doublets du spectre de lignes (c'est-à-dire les lignes de la série de l'hélium) qui correspondent au système d'orbites coplanaires, et la série de lignes simples (ou du parhélium) qui correspondent au système d'orbites croisées. Il a été indiqué par Franck et Knipping, que l'intervalle entre la première différence de potentiel d'émission (20,4 v) et la différence de potentiel d'ionisation (en prenant pour celui-ci la valeur de 25,2 v) est égale à 4,8 v, nombre qui s'accorde bien avec l'énergie 4,78 v correspondant à la limite de la série principale de l'hélium. Ainsi, cette série est associée avec l'orbite dans laquelle l'électron par absorption de l'énergie correspondant à 20,4 v et, ainsi qu'il a été dit ci-dessus, cette série correspond au système coplanaire d'orbites. Par suite, l'atome anormal résultant de l'absorption de 20,4 v est du type coplanaire, tandis que l'atome qui résulte de l'absorption de 21,2 v est du type croisé. Le principe de sélection de Bohr, étendu par Sommerfeld et Rubinowitz, indique que des transitions entre les deux systèmes d'orbites ne sont pas possibles et le fait que le spectre de l'hélium ne contient pas de lignes de combinaison des séries de l'hélium et du parhélium en est une confirmation.

Landé suppose que dans l'état normal de l'atome d'hélium les deux électrons tournent autour du noyau suivant des orbites coplanaires, le sens de rotation étant le même pour les deux électrons, et l'orbite de l'électron extérieur étant celle qui correspond au terme (1, s) de la série étroite. La valeur de l'énergie nécessaire pour ioniser l'atome, calculée à partir de cette théorie, n'est cependant pas d'accord avec la valeur déterminée expérimentalement, de sorte que le modèle de Landé de l'atome normal d'hélium peut être rejeté pour la même raison que celui de Bohr. Plus récemment, Franck et Reiche ont proposé un modèle dans lequel l'orbite normale de l'électron extérieur s'identifie avec celle correspondant au terme (1, s) de la série étroite du système croisé. Ils indiquent que si ce modèle est le bon, l'hélium, une fois placé dans la condition d'émission coplanaire ne peut, conformément au principe de sélection, revenir à la condition croisée, de sorte que les atomes anormaux produits par collision avec des électrons ayant 20,4 v d'énergie ne peuvent retourner à l'état normal par le moyen de l'émission. Ils considèrent la condition de l'atome d'hélium dans l'état coplanaire ainsi obtenu comme *métastable*.

La principale importance du dernier travail de Frank et Knipping repose sur ce fait que leurs conclusions apportent une confirmation à l'opinion de Frank et Reiche selon laquelle dans l'état normal de l'atome d'hélium les deux orbites des électrons sont croisées. Leurs courbes indiquent une première courbure marquée pour l'hélium pur à 21,2 v, tandis que, avec le gaz impur, les inflexions se produisent à 20,4 v et à 21,2 v. Ces résultats sont interprétés comme montrant que la perception du rayonnement à 20,4 v dépend de la présence dans l'hélium d'une petite quantité d'impureté. A 20,4 v, un choc non élastique est supposé apparaître, par lequel l'électron extérieur de l'atome d'hélium normal est enlevé à la première orbite extérieure, coplanaire avec l'orbite de l'électron intérieur, et l'absence d'inflexion à 20,4 v pour les courbes de l'hélium pur est considérée comme indiquant que les atomes anormaux ainsi produits ne reviennent pas à la condition normale. Comme il a été indiqué, il n'est pas possible, en accord avec le principe de sélection de Bohr, Sommerfeld et Rubinowitz, que des transitions réversibles apparaissent entre les systèmes d'orbites

(1) F. HORTON et A.-C. DAVIER, *Phil. Mag.*, novembre 1921, t. XLII, p. 746-773, 11 500 mots, 7 figures.

croisées coplanaires, de sorte que l'absence d'émission à 20,4 v dans l'hélium pur paraît confirmer l'opinion que dans l'atome normal l'orbite de l'électron extérieur n'appartient pas au même système que celui auquel il est enlevé par l'absorption des 20,4 v d'énergie, et que, par suite, les orbites sont croisées dans l'atome normal.

La perception d'une inflexion rapide à 20,4 v dans les courbes de Frank et Knipping dans le gaz impur est expliquée par eux en disant que dans la condition coplaire métastable la constitution de l'hélium ressemble à celle des métaux alcalins, et que, comme eux, il est capable de former des composés halogènes et un oxyde. En présence d'une impureté, les atomes d'hélium métastables forment avec les atomes de l'impureté des combinaisons fugitives, et, par suite, des perturbations extérieures peuvent exister, et les atomes d'hélium coplanaires peuvent revenir à leur état normal avec émission de lumière.

Le modèle d'atome d'hélium normal de Franck et Reiche a été critiqué récemment par Kemble qui remarque que leur identification de l'orbite normale de l'électron extérieur avec l'orbite (1,8) de la série étroite de l'hélium croisé ne conduit pas à une énergie tout à fait correcte pour l'atome d'hélium normal, et qu'elle ne s'accorde pas avec les observations de Fricke et Lyman sur le spectre ultra-violet extrême de l'hélium.

Les expériences rapportées dans le présent travail ont fourni des résultats qui ne concordent pas entièrement avec les conclusions de Franck et Knipping. Les auteurs, notamment, ne considèrent pas comme justifiée l'hypothèse que les inflexions des courbes à 20,4 v et à 21,2 v sont dues à la mesure de courants d'émission plutôt que de courants d'ionisation, et il semble probable que l'observation d'une inflexion à 20,4 v dans l'hélium impur, sans inflexion correspondante dans l'hélium pur, est due au fait que dans le premier cas les rayons émis à 20,4 v ionisaient l'impureté, d'où grand courant d'ionisation.

Comme dans leurs précédentes expériences, les auteurs ont obtenu encore, sans doute possible, une émission de lumière à 20,4 v dans l'hélium pur. Et il y a confirmation des conclusions antérieures selon lesquelles cette émission résulte d'impacts d'électrons, ayant 20,4 v d'énergie, avec les atomes d'hélium. Ces expériences ont aussi vérifié la conclusion de Frank et Knipping en vertu de laquelle il y a un deuxième point d'émission à 21,4 v, et ont en outre montré que les deux types d'émission peuvent être absorbés par les atomes d'hélium normal et réémis, de sorte que, lorsque l'émission est produite dans l'hélium, elle est transportée d'atome à atome à travers le gaz. Enfin, on a trouvé que, avec des pressions bien plus grandes que celles qui correspondent aux précédentes expériences, l'ionisation de l'hélium peut être observée avant que la tension de l'ionisation normale ne soit atteinte, mais ce résultat est dû surtout à un mécanisme indirect, plutôt qu'à un impact des électrons dans ces nouvelles conditions. — L. B.

Sur les progrès de la télégraphie sans fil.

Tel est le titre d'un discours prononcé par M. Henri Deslandres, membre de l'Académie des Sciences à la séance publique annuelle de l'Institut de France, réunissant les cinq académies, qui a eu lieu le 25 octobre 1921.

Après avoir rappelé les origines de la télégraphie sans fil et donné, sous une forme accessible à des auditeurs non initiés, quelques indications sur la production des ondes électriques et sur leurs propriétés, l'orateur a retracé brièvement les progrès accomplis durant ces dernières années dans le domaine de la radiotélégraphie, puis a terminé par quelques réflexions qui le conduisent à se demander si les ondes électriques, auxquelles les sens humains sont insensibles, ne sont pas perçues par certains animaux, en particulier les oiseaux qui souvent prévoient les orages. Nous reproduisons ci-dessous les deux dernières parties de ce discours.

Je reviens aux progrès et aux applications de la télégraphie sans fil.

A partir de 1900, l'amélioration a été rapide et continue, mais elle a été importante surtout pendant la guerre pour les raisons suivantes :

Le général Ferrié a attiré en 1915 dans son laboratoire, créé déjà en 1900, de nombreux hommes de science, de nombreux ingénieurs spécialistes ; et, faisant appel à leur patriotisme, il a donné à chacun une tâche bien déterminée, de manière à assurer la coordination des efforts et leur concentration vers le même but. Le succès a été complet, car, là comme ailleurs, c'est l'union qui fait la force. La télégraphie sans fil française a pris ainsi la première place et la délient encore aujourd'hui.

L'amélioration a porté sur toutes parties ; on a augmenté en même temps la puissance de l'émission, la qualité des ondes émises, et surtout la sensibilité de la réception. Sur les deux derniers points, le progrès a été tel que, avec certains petits appareils, la portée atteinte a été presque centuplée.

Pour l'augmentation de la puissance, il suffira de rapprocher quelques chiffres. La grande station de la tour Eiffel a été organisée en 1903 ; elle disposait alors de 3 ch, mais, en 1910, elle en avait 75, en 1914, 150 et 300 à la fin de la guerre. De plus, comme la tour Eiffel pouvait être détruite par un bombardement, on a construit en 1915, à Lyon, une autre station avec 450 ch, et, en 1918, une station encore plus forte, à Bordeaux, avec 1 500 ch. Enfin, une quatrième station, actuellement en préparation à Saint-Assise, près de Melun, pourra concentrer, dans un même signal, 2 000 ch. La progression, comme on voit, est frappante ; et j'ajoute que les Américains du Nord ont en préparation une grande station centrale pour laquelle on prévoit 10 000 ch.

D'autre part, on a abandonné peu à peu l'étincelle électrique dont les vibrations sont inégales. Les appareils qui la remplacent donnent des ondes, toujours identiques, appelées ondes entretenues ; ce qui assure de multiples avantages ; la portée est plus que doublée, et le problème de la téléphonie sans fil immédiatement résolu. Récemment on a réalisé, pour les ondes entretenues et au prix de grands efforts, des alternateurs à vitesse de rotation rapide, qui produisent directement jusqu'à 32 000 vibrations électriques par seconde. Ces machines qui peuvent être très puissantes, s'imposent dans les grandes stations.

L'amélioration a été grande surtout dans la réception. En 1915 on a mis au point un organe récepteur très sensible appelé amplificateur à lampe ou lampe à trois électrodes. C'est une lampe à incandescence spéciale, qui, recevant une onde électrique, la renforce sans la déformer ; puis l'onde agrandie est envoyée dans une seconde lampe semblable qui la renforce à son tour. On compte ainsi parfois jusqu'à dix renforcements successifs, et l'onde qui arrive imperceptible est finalement remplacée par une onde assez intense pour être entendue au téléphone. Ces lampes s'appuient sur les découvertes les plus récentes de la physique ; elles utilisent les particules appelées électrons, qui ont la masse et la charge électrique les plus faibles que l'on connaisse. On conçoit que des particules aussi ténues puissent assurer une grande sensibilité. L'emploi de ces lampes s'est beaucoup généralisé pendant la guerre, et nos usines en ont fabriqué plusieurs millions pour nous et nos alliés.

L'amplificateur à lampe permet aussi ce qu'on appelle la réception sur cadre. L'antenne est remplacée pour la réception par un simple cadre, mobile autour d'un axe vertical ; le cadre perçoit les ondes qui arrivent et, de plus, détermine leur direction, d'après la méthode indiquée par notre confrère M. Blondel. Avec deux de ces cadres suffisamment éloignés, on a la position sur la carte de la station qui émet.

Chose curieuse, cette même lampe sert aussi pour l'émission des ondes et pour bien d'autres applications ; on a pu dire qu'elle était la lampe merveilleuse des mille et une nuits. Avec elle on a établi de petits postes de télégraphie sans fil à la fois émetteurs et récepteurs, légers et de bonne portée, qui ont été construits par milliers, employés surtout les points du front, sur les avions et les sous-marins, qui ont été adoptés par nos alliés, et que nos ennemis, à la fin de la guerre, commençaient à copier.

Enfin, on a pu éviter la confusion entre les ondes d'origines très diverses qui arrivent simultanément et recevoir seulement le message ou les messages qui intéressent.

Avec tous ces perfectionnements techniques, les applications de la télégraphie sans fil sont devenues de plus en plus nombreuses.

Pendant la durée entière des hostilités, les grandes stations françaises ont assuré en permanence la communication avec nos alliés de l'Est, Russes, Serbes et Roumains. Aux armées, des postes de télégraphie sans fil moins puissants mais mobiles, ont relié tous les échelons du commandement, depuis le grand quartier général jusqu'au bataillon et à la batterie. La même liaison était réalisée souvent aussi par la téléphonie ordinaire avec fil, qui a ses avantages. Mais, en 1918, lorsque la guerre en rase campagne a recommencé, la télégraphie nouvelle s'est montrée nettement supérieure, car elle n'a pas de fils à peser. Chaque division disposait de plusieurs postes de télégraphie sans fil échelonnés en profondeur, à partir de la première ligne, qui se relayaient et se remplaçaient avec souplesse, en se pliant à toutes les péripéties du combat. La télégraphie sans fil convient seule à la guerre de mouvements.

Les postes divisionnaires français déterminaient aussi la position des postes similaires ennemis par la méthode du cadre, indiquée ci-dessus, que nous avons appliquée les premiers sur le front ; et comme le poste allemand avait souvent ses particularités, il a été parfois possible de reconnaître les déplacements de la division ennemie par les déplacements de ses postes de T. S. F. Je cite ce fait au milieu de beaucoup d'autres qui sont à relever.

Après la guerre, la télégraphie sans fil a continué sa marche ascendante, mais en portant son effort, au moins en partie, dans d'autres directions.

On construit en ce moment de grands postes en France et dans les cinq principales colonies. Notre pays doit assurer en tout temps les communications avec ses possessions lointaines ou le monde entier, et être indépendante des câbles sous-marins qui, la plupart, sont étrangers.

En même temps, les stations anciennes et nouvelles s'organisent pour une exploitation commerciale. Le nombre des mots transmis par minute a été augmenté de façon notable et on travaille pour l'augmenter encore.

De plus la télégraphie sans fil remplit chaque jour la mission qui lui est propre ; elle répand dans toutes les directions la bonne parole et le bon signal. Depuis 1910, elle envoie deux fois au moins par jour l'heure internationale qui permet à chacun de régler sa montre, qui surtout permet au marin et à l'explorateur de déterminer leur longitude avec aisance et précision. Journallement aussi elle transmet plusieurs dépêches météorologiques qui donnent l'état général de l'atmosphère par ses propres moyens. Les récepteurs enregistrent tous les troubles électriques de l'atmosphère, encore peu étudiés et mal connus ; on a déjà pu prévoir ainsi des orages et déterminer leur direction.

Pour toutes ces raisons, les stations de télégraphie sans fil se multiplient sur la terre entière, et avec les tendances générales suivantes. Les postes d'émission sont construits de plus en plus puissants, car alors les messages souffrent moins des troubles atmosphériques. La station de Sainte-Assise, près de Melun, de beaucoup la plus importante du globe, offre pour supporter l'antenne 17 pylônes hauts de 250 m. qui occupent une surface de 120 hectares. Vue de loin, elle laisse une impression à la fois de force et de légèreté.

D'autre part, avec les nouvelles lampes, l'appareil récepteur est de plus en plus petit. Actuellement un simple cadre de 30 cm de côté, non relié à une antenne ou à la terre, suffit pour recevoir les dépêches des grandes stations américaines. Peu encombrant et peu coûteux, ce cadre peut être placé sur le bureau de travail, à côté du téléphone ordinaire. Or, il est question de transmettre à heure fixe chaque jour les dernières nouvelles par la téléphonie sans fil, et récemment on a pu téléphoner à plus de 2000 km, avec l'espoir de réaliser prochainement une portée normale beaucoup plus

grande. On a déjà rayonné ainsi des concerts et des conférences ; et la même voix peut se faire entendre à l'Europe entière et au nord de l'Afrique. Saluons ici, messieurs, le lien nouveau qui s'établit ainsi entre les hommes et les peuples, et dont l'influence actuellement faible, peut devenir un jour considérable ; et soyons fiers de la part très grande qu'a eue notre pays à ce magnifique résultat.

Permettez-moi, en terminant, d'ajouter quelques réflexions d'ordre moins technique.

L'organisme humain sait produire et percevoir les ondes sonores, mais non les ondes électriques de la radiotélégraphie. Evidemment la nature est allée pour nous au plus pressé ; dans notre ambiance ordinaire les sons, les bruits, les chocs sont beaucoup plus fréquents que les décharges électriques. Mais la nature, comme le remarque si justement Fontenelle, offre une infinie diversité dans ses ouvrages ; elle a tout essayé et elle nous montre sur cette terre quelques êtres qui ont évolué, peut-on dire, du côté électrique : ce sont les poissons, tels que la raie torpille de nos côtes et le gymnote, qui produisent eux-mêmes des décharges électriques. Ils utilisent ces décharges pour leur défense et pour abattre les animaux dont ils se nourrissent : ils ont pratiqué bien avant nous l'électrocution. Ces poissons qui émettent des ondes électriques doivent aussi vraisemblablement les recevoir ; et certains oiseaux, qui prévoient les orages, sont probablement sensibles aux mêmes ondes. On peut concevoir des êtres doués d'un cerveau aussi puissant que le nôtre et organisés pour les ondes électriques. Ils auraient les avantages énumérés ci-dessus pour la télégraphie sans fil et nous seraient supérieurs. Ils doivent exister dans les innombrables planètes de l'univers étoilé, dans celles qui ont un grand développement des phénomènes électriques, et le talent d'un Jules Verne ou d'un Wells peut les faire vivre sous nos yeux.

J'admets pleinement, vous le voyez, la pluralité des mondes habités. C'est la thèse soutenue avec éclat, il y a plus de deux cents ans, par Fontenelle dans ses entretiens célèbres qui ont conservé toute leur valeur. Fontenelle place des habitants dans la lune qui, cependant, n'a pas d'atmosphère ; il admet, il est vrai, qu'ils sont autrement bâtis que nous. Les arguments à l'appui sont aujourd'hui plus nombreux et plus forts, à cause de la connaissance plus grande que nous avons de ce monde.

Nous voyons en effet, partout, la vie s'adapter, se plier aux conditions du milieu, et même aux besoins particuliers. On a cru longtemps que la vie était absente des profondeurs de la mer : on objectait la grande pression et l'obscurité qui y règnent. Or la vie y est intense ; certes, les animaux des grands fonds ne reçoivent pas la lumière du soleil, mais ils font eux-mêmes leur lumière.

Je citerai aussi l'aptitude du pigeon à retrouver sa route, aptitude qui correspond à un besoin. J'ai assisté à un lancer de pigeon, en ballon libre à 1500 m d'altitude. L'oiseau avait été amené dans une caisse fermée ; aussitôt libéré, il a décrit rapidement deux ronds autour du ballon et s'est élancé, sans hésiter, dans la direction de son pigeonnier, éloigné de 400 km. Le pigeon n'a pas révélé le secret de sa méthode qui nous a échappé jusqu'ici.

De quelque côté qu'on se tourne, on est ramené à la réflexion profonde d'Hamlet.

« Il y a plus de choses sur la terre et dans le ciel que dans votre philosophie. »

Et quand on avance, les limites dans lesquelles le progrès semblait resserré, s'élargissent, et un nouvel effort s'impose.

En réalité, le domaine ouvert aux explorations de la science s'étend et s'étendra toujours à perte de vue et dans tous les sens ; les hommes de ma génération qui en ont reconnu une partie ou se sont intéressés aux travaux poursuivis ont été certes privilégiés ; ils ont vu se dérouler devant leurs yeux émerveillés une longue suite de belles découvertes. Mais plus on s'élève, plus l'horizon s'élargit, et nos petits-fils, à tous égards mieux armés pour la recherche, verront des choses plus extraordinaires encore.

SECTION INDUSTRIELLE

La transmission d'énergie Seira-Barcelone de la Société catalane du Gaz et de l'Electricité à Barcelone

Cet article contient la description de l'usine hydroélectrique de Seira installée par la Société catalane du Gaz et de l'Electricité à Barcelone, sur la rivière Esera où elle utilise une chute de 145 mètres, à une altitude de 900 mètres environ. Cette usine comprend 4 turbines de 12 500 chevaux (3 seulement sont en fonctionnement à l'heure actuelle) accouplées à des alternateurs de 9 000 kilovolts-ampères fournissant du courant triphasé de 50 périodes par seconde à la tension de 6 000 à 6 500 volts, qui est ensuite élevée à 120 000 volts pour la transmission, par une ligne double, à Barcelone, distant de 250 kilomètres. Sur ce trajet, on a prévu trois sous-stations de 6 000 kilovolts-ampères chacune et une quatrième de 36 000 kilovolts-ampères au voisinage immédiat de Barcelone. L'usine est édifiée dans la montagne, au pied de la Maladetta, à 75 kilomètres de la station de chemin de fer la plus rapprochée, ce qui a nécessité le transport à grand renfort de mulets de tout le matériel. Chaque phase de la ligne de transmission est formée d'un conducteur toroné en cuivre, de 86 millimètres carré de section; le câble protecteur est en acier, d'une section de 50 millimètres carrés; il est mis à la terre tous les 4 poteaux.

1. Généralités. — La Société catalane du Gaz et de l'Electricité à Barcelone est concessionnaire de quelques chutes d'eau de l'Esera qui prend sa source

dans la partie espagnole des Pyrénées, au pied du massif de la Maladetta.

La puissance totale utilisable est d'environ 100 000 ch.

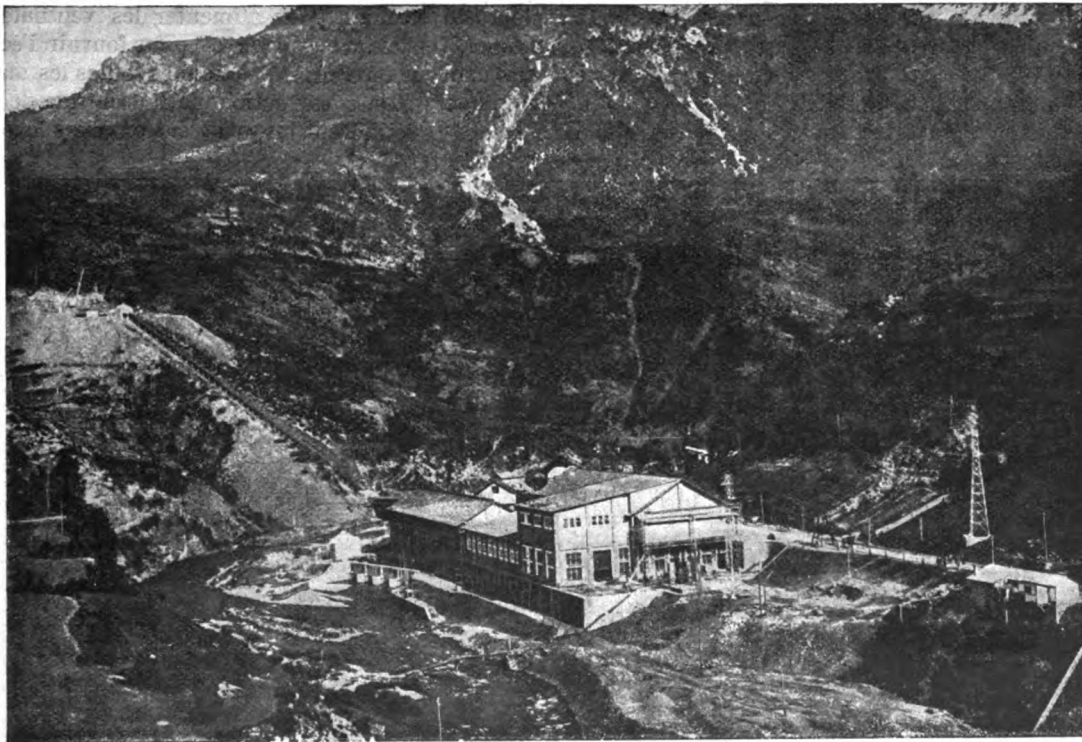


Fig. 1. — Vue d'ensemble de l'usine hydroélectrique de Seira.

Entre la source de l'Esera et son confluent avec le Cinca, la différence de niveau d'environ 1 800 m sera

utilisée par échelons pour produire l'énergie électrique destinée à être transmise en Catalogne.

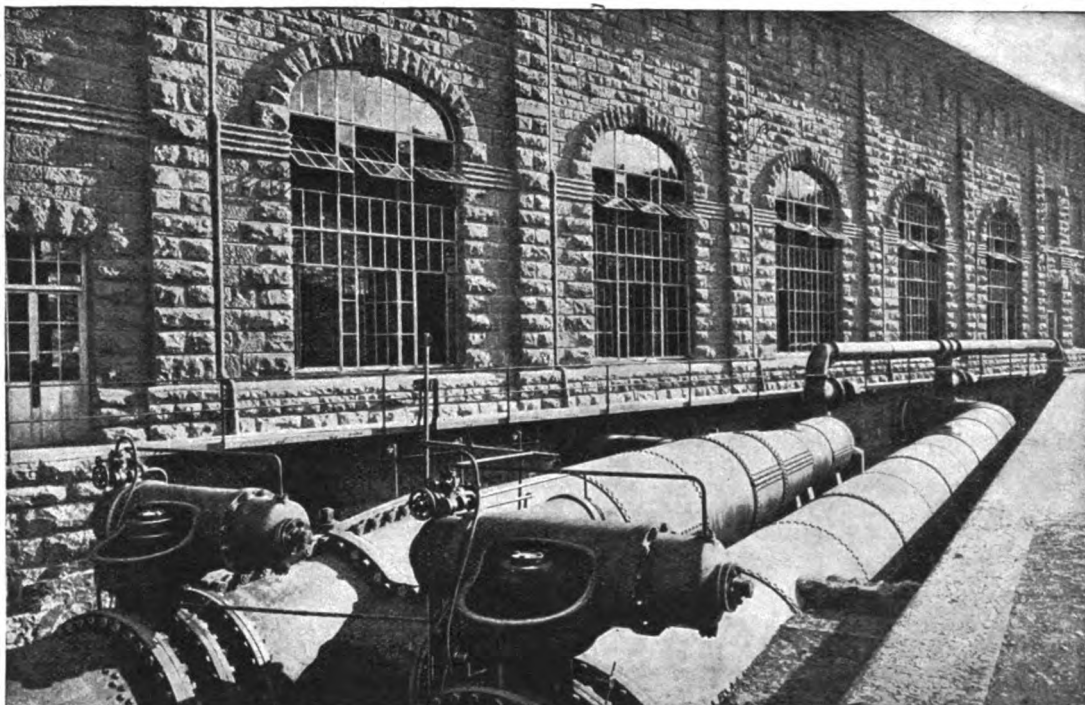


Fig. 2. -- Entrée des conduites d'eau dans la centrale.

La première centrale, dont la description détaillée fait l'objet de la présente publication, se trouve à Seira, à 784 m au-dessus du niveau de la mer ; elle a été mise en service en août 1918. D'autres centrales, plus en aval, sont en construction.

Deux petites stations électriques auxiliaires d'une

puissance totale de 500 kv-a aux générateurs, avaient déjà été établies pour alimenter les ventilateurs de tunnel, les compresseurs, etc., pour fournir l'éclairage aux maisons ouvrières et actionner toutes les machines employées à la construction de la centrale de Seira à laquelle travaillèrent jusqu'à 2 000 ouvriers logés dans



Fig. 3. -- Bassin de retenue (vu d'aval avec la maisonnette des vannes, à gauche).

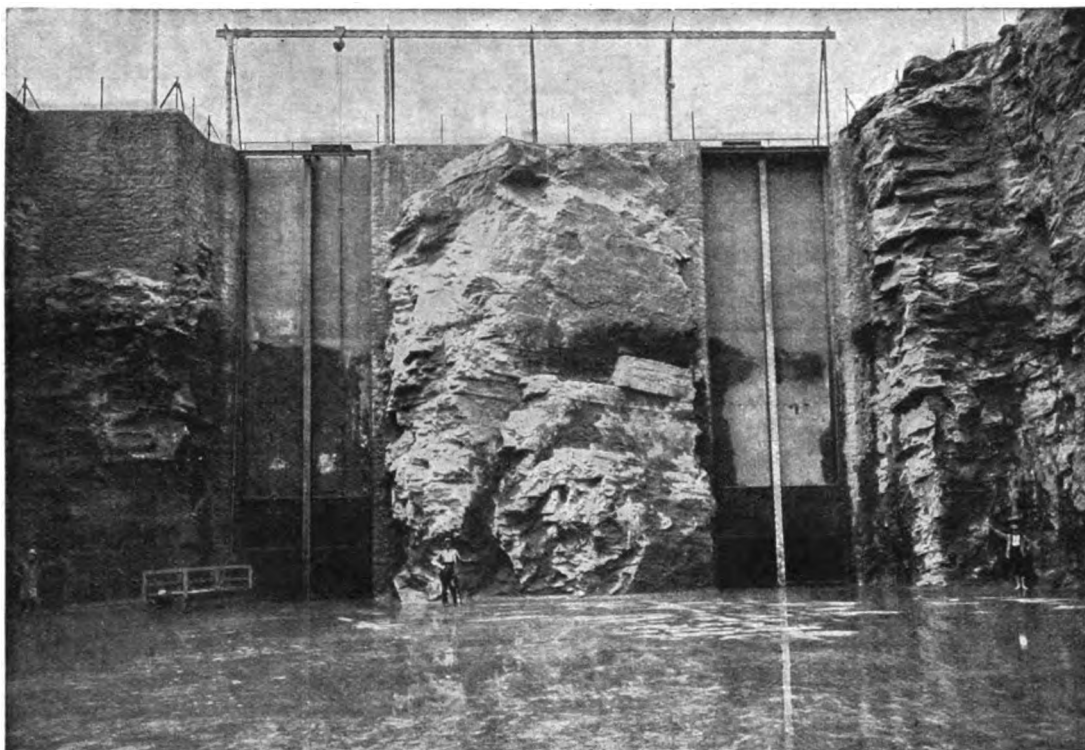


Fig. 4. — Château d'eau avec les vannes des conduites d'amenée.

des baraquements. A la longue, tout un village se développe dans le voisinage des chantiers. La société construisit, avec les bâtiments nécessaires aux bureaux, l'habitation pour l'ingénieur en chef, différentes mai-

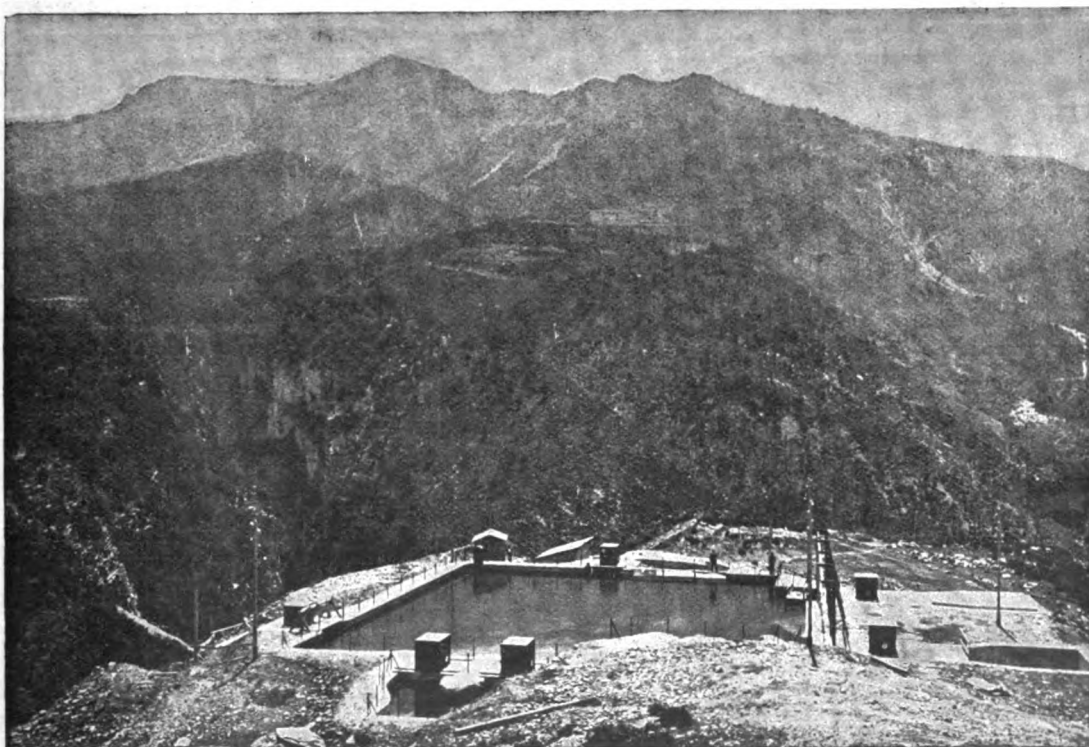


Fig. 5. — Château d'eau (rempli).

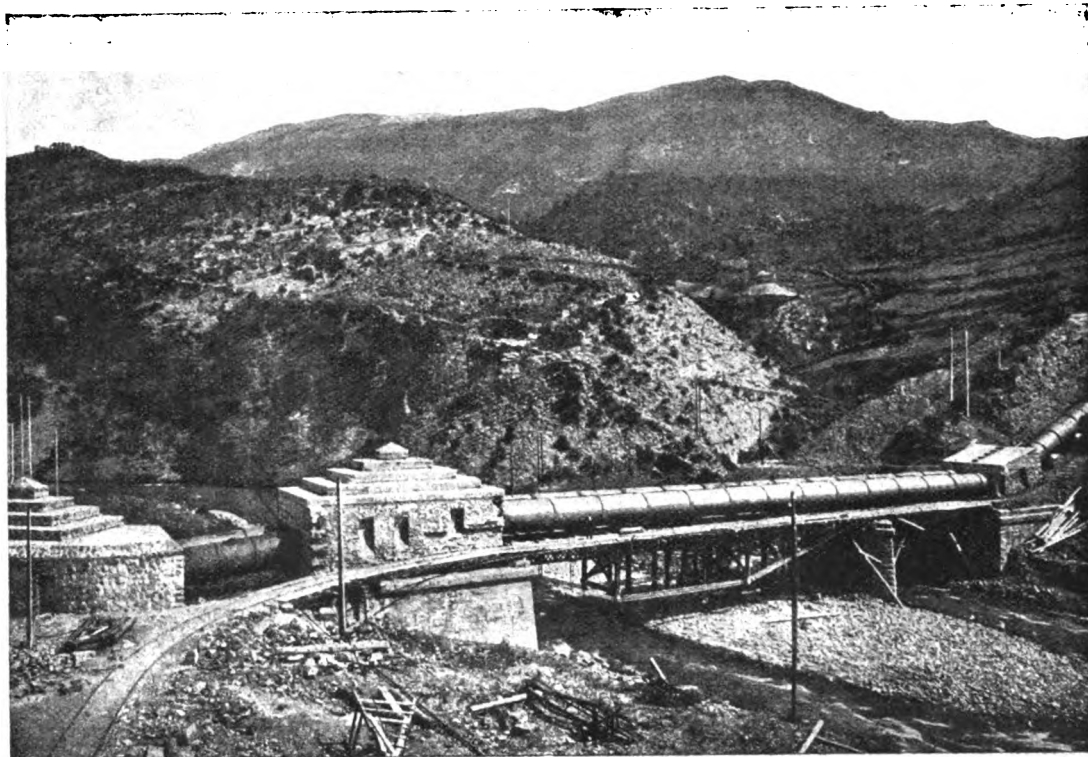


Fig. 6. Traversée de l'Esera par la canalisation.



Fig. 7. Vue générale de la centrale et de la canalisation d'amenée d'eau.

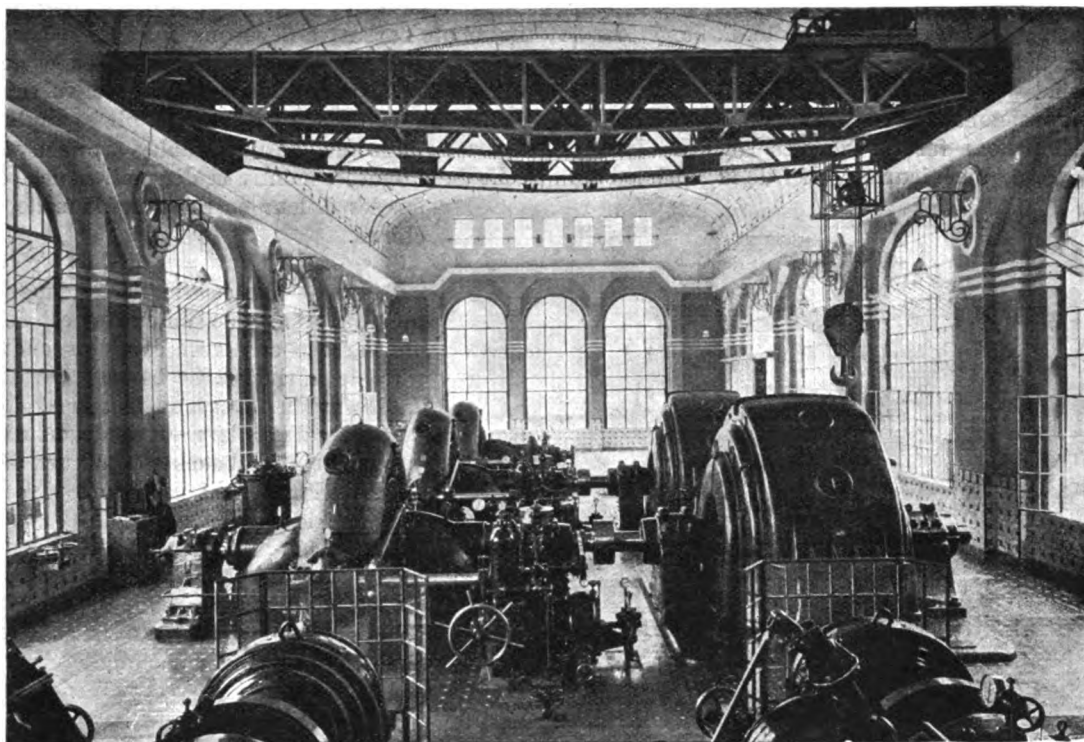


Fig. 8. — Salle des machines.

sons pour les employés et les monteurs, avec ou sans famille, un grand nombre de baraquements, une école, une boulangerie, un hôpital, une petite caserne pour la police, une scierie, un bureau de poste et une chapelle. Elle installa également un atelier mécanique avec ma-

gasins, un garage d'automobiles ainsi que des écuries pour abriter environ 300 mulets employés au transport de tout le matériel depuis la station du chemin de fer de Barbastro située à 76 km de Seira.

Les vivres nécessaires sont fournis au prix coûtant

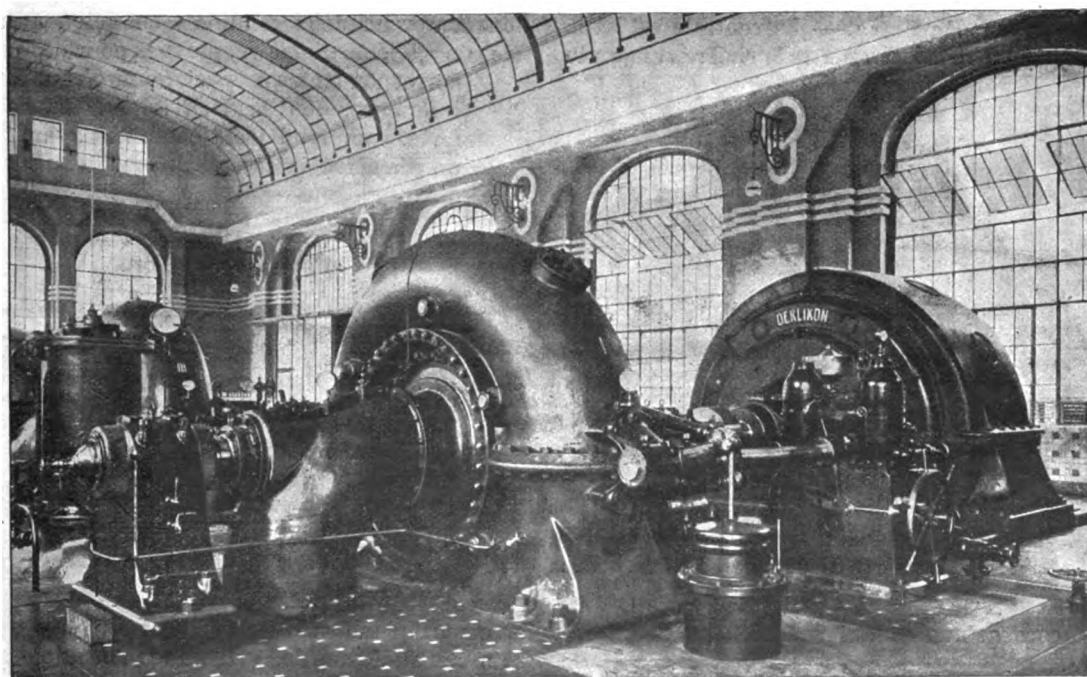


Fig. 9. — Groupe hydroélectrique de 12 500 ch.

par des magasins régis par la société. A l'extérieur de la colonie, il a été construit dans le roc un dépôt pour les explosifs.

Tous les projets et travaux de la transmission d'énergie de Seira-Barcelone furent exécutés sous la direction M. D. Mayoral, ingénieur en chef de la Société cata-

nales Barbastro-Benasque. Au-dessus de la station, la route s'engage dans les gorges profondes de Ventanillo. Le petit village de Seira se trouve sur la rive droite un peu en hauteur. La photographie de la figure 1 donne une vue d'ensemble de cette installation ; celle de la figure 2 montre la disposition des conduites forcées à leur entrée dans la salle des machines.

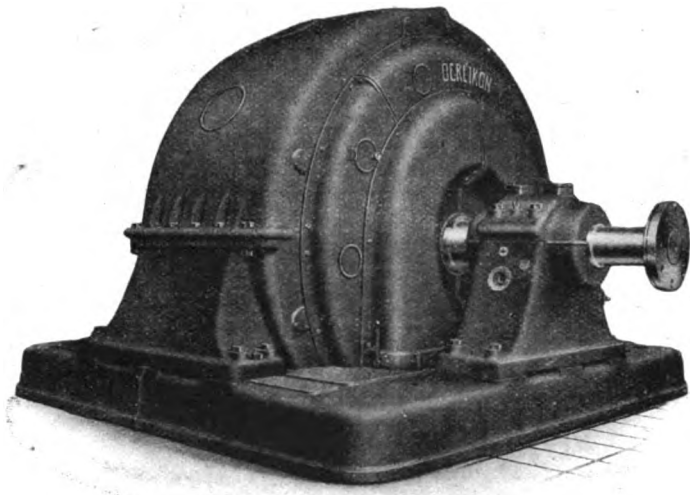


Fig. 10. — Alternateur triphasé de 9 000 kv-a.

lane du Gaz et de l'Electricité. Il est à peine besoin de rappeler les difficultés sans nombre qu'il a fallu surmonter pour mener, pendant la guerre, une pareille entreprise à bonne fin.

II. La centrale de Seira. — La centrale est bâtie sur la rive gauche de l'Esera, entre la rivière et la route

BASSIN. — Le bassin de retenue (fig. 3), près du village de Villanova, est formé par un barrage construit dans un endroit resserré de la rivière. Ce barrage est à 906,5 m au-dessus du niveau de la mer et comprend 3 vannes d'une largeur totale de 16 m. Sur la rive droite débouchent 4 canaux de chacun 2,5 m de large, dont les vannes sont commandées par des treuils placés dans une maisonnette spéciale. Après avoir passé deux courts tunnels de 6 m de large qui servent de bassin de décantation, l'eau traverse la vallée dans un canal ouvert qui la conduit à une galerie de 827,4 m par laquelle elle atteint le château d'eau.

Cette galerie est construite pour un débit de 25 m³ s avec une déclivité de 1 pour 1 000. La distance du bassin de retenue au château d'eau est de 887,1 m.

Le château d'eau, d'environ 12 m de profondeur, est creusé dans le roc (fig. 4 et 5). Il est prévu, en premier établissement, pour une capacité d'environ 50 000 m³ et est raccordé à la centrale par une canalisation de 1 110 m de long. Dans sa partie supérieure qui présente la plus faible déclivité, cette canalisation comprend deux conduites en béton armé et en tôle, de 2,5 m de diamètre, prévues pour des pressions correspondantes à 30 et 50 m d'eau. La partie inférieure, dont la déclivité est beaucoup plus forte, comprend trois conduites ayant chacune un diamètre intérieur de 2 m. Pour le moment,

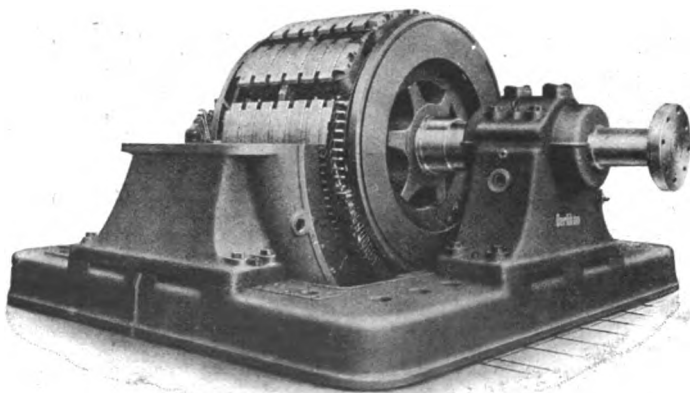


Fig. 11 et 12. — Alternateur triphasé de 9 000 kv-a sans la partie supérieur du stator et rotor soulevé de ses paliers.

il n'y a encore qu'une conduite placée dans la partie supérieure.

Des clapets de fermeture sont placés entre les conduites de 2,5 m et 2 m pour arrêter l'eau automa-

tiquement quand sa vitesse dépasse la valeur normale.

Un peu au-dessus de l'usine, la canalisation traverse, en deux portées de 15 et 30 m (fig. 6 et 7), la rivière qu'elle longe ensuite sur la rive gauche. A son entrée

dans la centrale, elle est encore munie de clapets de fermeture derrière lesquels sont prévus des tuyaux de dérivation aux turbines principales et à celles des excitatrices. La chute maximum utile est de 145,62 m.

CENTRALE. — La centrale proprement dite comprend :

1° La salle des machines, dont la figure 8 montre la disposition générale ;

2° Le local haute tension avec les cellules des transformateurs ;

3° Le local des pupitres de commande, des tableaux de distribution et des cellules pour l'appareillage à 6 000 v ;

4° Un atelier de réparation ;

5° Des bureaux et des magasins ;

6° Des dépôts d'huile en souterrain.

TURBINES. — La centrale est construite pour quatre turbines à axe horizontal, ayant chacune une puissance maximum de 12 500 ch à 500 t : mn (fig 9). Pour le moment il n'y a encore que trois doubles turbines Francis d'installées, qui sont prévues pour les données suivantes :

| | | | |
|-----------------------------|--------|--------|-------------|
| Chute utile..... | 150,65 | 138 | 145,62 m |
| Consommation d'eau | 6 700 | 6 700 | 5 000 l : s |
| Puissance | 10 000 | 10 600 | 8 400 ch |
| Puissance maximum..... | | | 12 500 ch |
| Nombre de tours normal..... | | | 500 t : mn |
| Vitesse d'emballement..... | | | 900 t : mn |
| Rendement à 10 000 ch..... | | | 86 pour 100 |

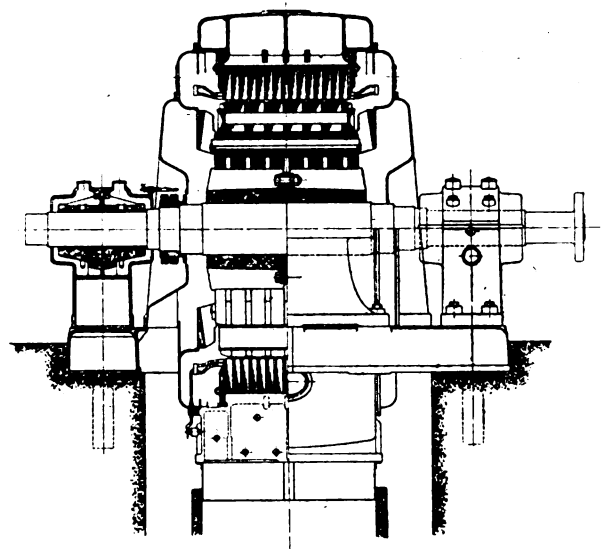
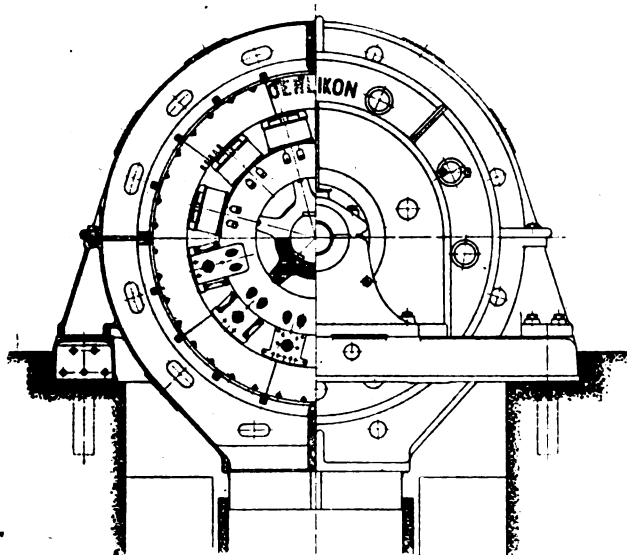


Fig. 13 et 14. — Coupe perpendiculaire à l'axe d'un alternateur triphasé de 9 000 kv-A et coupe suivant l'axe d'un alternateur triphasé de 9 000 kv-A.

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------|
| Rendement à 8 500 ch..... | 87 pour 100 |
| id 5 000 ch..... | 82 id |
| id 2 500 ch..... | 63 id |
| Degré d'irrégularité entre la pleine charge et la marche à vide | 4 id |

Lorsque la charge diminue subitement de

2 400 5 000 7 500 10 000 ch

la vitesse augmente de

2,5 5 7,5 10 pour 100

(Le PD^2 étant de 120 000 kg-m²).

Pour les excitatrices, on a installé séparément deux turbines qui actionnent en même temps les machines électriques pour le service interne de la centrale. Ces

deux turbines sont à action et répondent aux caractéristiques suivantes

| | | |
|-------------------------|-------------|---------------------|
| Chute utile..... | 132 m, | puissance 600 ch |
| Consommation d'eau..... | 460 l : s, | vitesse.. 600 t : m |
| Rendement à 600 ch..... | 74 pour 100 | |
| id 450 ch..... | 75 id | |
| id 300 ch..... | 71 id | |
| id 150 ch..... | 43 id | |

Régulation : lorsque la charge diminue subitement de

150 300 600 ch

la vitesse augmente de

3 6 15 pour 100

Chacune des deux turbines actionne, outre une excitatrice de 225 kw, un alternateur de 125 kv-A et une

génératrice de 45 kw pour charger une batterie d'accumulateurs.

Pour réduire les variations de vitesse aux valeurs précitées, il fallut recourir à un PD^2 additionnel fourni par un accouplement prévu sous forme de volant entre la turbine et l'excitatrice.

ALTERNATEURS TRIPHASÉS. — Les alternateurs triphasés (fig. 10), construits par les Ateliers de Construc-

tion (Ærlikon, (A. C. O.) sont accouplés rigidement à leur turbine et possèdent les caractéristiques suivantes

| | |
|------------------------|-----------------------------|
| Puissance normale..... | 9 000 kv-A |
| Tension..... | 0 000-6 500 v |
| Vitesse..... | 500 t : mm |
| Fréquence..... | 50 p : s |
| PD^2 | 120 000 kg-m ² . |

Dans le choix de la puissance des alternateurs, il

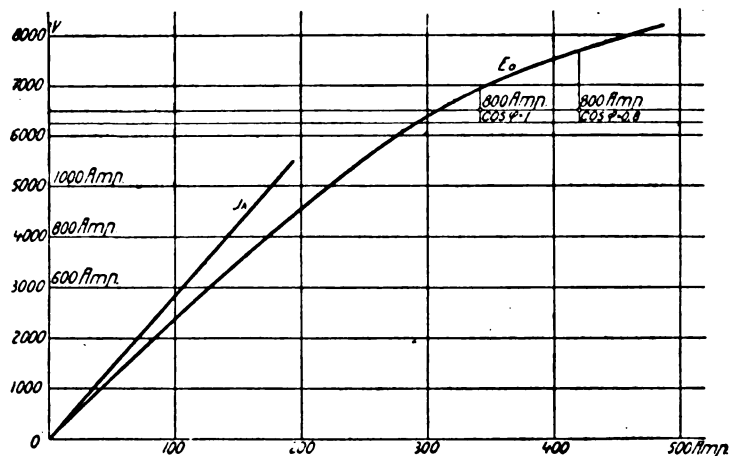
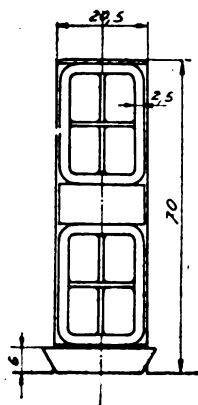


Fig. 15. — Section à travers une encoche de stator. — Fig. 16. — Courbes caractéristiques d'un alternateur triphasé de 9 000 kv-A.

fallait, en première ligne, tenir compte du courant de capacité de la ligne de transmission.

Ce courant est de 44 A pour une tension de 125 000 v

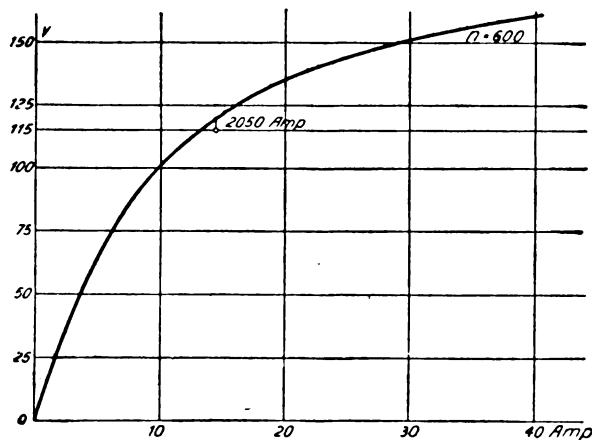


Fig. 17. — Courbes caractéristiques d'une excitatrice shunt de 2.5 kw.

au départ ou, rapporté à la tension des alternateurs, de 920 A, ce qui correspond sensiblement à l'intensité normale d'une machine.

Rendement des alternateurs pour une tension moyenne de 6250 v,

| | | |
|------------|--------------------|----------------------|
| | $\cos \varphi = 1$ | $\cos \varphi = 0,8$ |
| 9 000 kv-A | 96,7 | 95,7 pour 100 |
| 6 250 kv-A | 95,7 | 94,7 id |
| 4 500 kv-A | 94,2 | 93,7 id |

Chute de tension entre la marche à vide et à pleine charge à 6500 v pour,

| | |
|----------------------------|--------------|
| $\cos \varphi = 1$ | 6,5 pour 100 |
| $\cos \varphi = 0,8$ | 18,5 id |

La tension d'impédance étant de 600 v, pour protéger efficacement les alternateurs, on leur ajouta des bobines de réactance produisant une tension d'impédance additionnelle de 600 v, portant ainsi la tension d'impédance totale à 20 pour 100 de la tension normale.

Les alternateurs sont construits pour une puissance permanente maximum de 10 000 kv-A (8 500 kw sous $\cos \varphi = 0,85$).

Au point de vue isolement, échauffement, capacité de surcharge, etc., ils répondent aux règles du Verbant Deutscher Elektrotechniker. (V. D. E.)

DÉTAILS DE CONSTRUCTION DES ALTERNATEURS DE 9 000 kv-A.

— L'arbre est en acier Siemens Martin forgé; le croisillon du rotor, en acier coulé. Sur ce croisillon sont passés à chaud 8 anneaux d'une seule pièce, complètement usinés, en acier forgé, sur lesquels les pôles sont fixés par des cales, suivant le système A. C. O. qui a donné d'excellents résultats (fig. 11 et 12).

L'alésage du stator est de 2500 mm; sa largeur de fer, 1200 mm. Les détails de construction sont visibles sur les coupes d'ensemble des figures 13 et 14: la figure 15 est une coupe à travers une encoche de stator.

L'enroulement est placé dans 120 encoches ouvertes de 20,5 mm de largeur sur 70 mm de profondeur. Les paliers sont graissés à l'huile sous pression et refroidis à l'eau; ils possèdent, en outre, comme réserve, 2 bagues de graissage. Des ventilateurs adaptés de chaque côté du rotor aspirent l'air d'un canal commun et le refoulent, à travers l'alternateur, dans un canal d'évacuation qui le conduit à l'extérieur. En raison de

la pureté de l'air, il n'était pas nécessaire de prévoir de filtres. L'admission de l'air est réglée par des clapets montés à l'entrée des alternateurs.

Données électriques des alternateurs triphasés. — Le stator est muni d'un enroulement formé de 240 barres, dont 2 par encoche et 80 par phase.

L'enroulement du rotor comprend 12 bobines inductrices connectées en série, formées de ruban de cuivre

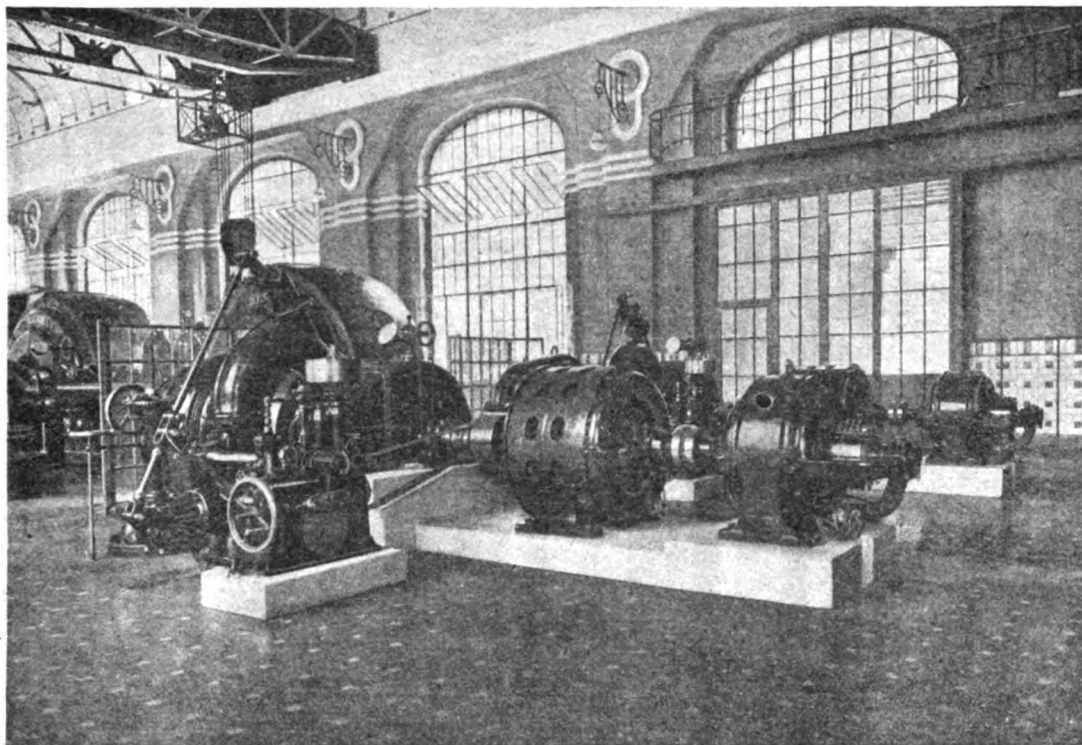


Fig. 18. — Turbine de 600 ch avec excitatrice et groupe auxiliaire.

de 4 mm sur 45 mm et comportant 44,5 spires par bobine.

| Poids nets. | |
|--------------------------------------------------------------|-------------------|
| Stator (en quatre pièces)..... | 41 000 kg |
| Revêtements | 3 600 |
| Arbre | 5 800 |
| 12 pôles complets..... | 17 200 |
| Corps du rotor (2 moitiés)..... | 19 000 |
| Plaque de fondation..... | 6 600 |
| 2 paliers | 5 800 |
| 2 ventilateurs..... | 2 000 |
| Réfrigérant d'huile, canalisation et petits accessoires..... | 1 000 |
| Total..... | 102 000 kg |

En raison des difficultés du transport sur un parcours de 76 km de la station de chemin de fer de Barbastro à la centrale, le poids de la pièce la plus lourde, y compris l'emballage, ne devait pas dépasser 12 t;

cette condition obligea à construire le stator en quatre pièces.

On a relevé sur ces alternateurs les caractéristiques reproduites en figure 16.

Les excitatrices sont des génératrices shunt, munies de pôles auxiliaires; leur puissance normale est de 225 kw, sous une tension de 115 v et à la vitesse de 600 t:mn, comme il ressort de la courbe caractéristique de la figure 17. Leur rendement est de 92 pour 100 à 225 kw; 91 pour 100 à 168,75 kw; 82 pour 100 à 56,25 kw. Leur chute de tension entre la marche à vide et la pleine charge est de 8 pour 100.

SERVICES AUXILIAIRES. — Pour alimenter les nombreux moteurs des services auxiliaires, on a prévu 2 alternateurs triphasés de 125 kv-a, 230 v, 50 p: s et 60 t: mn. Le courant pour l'installation de signalisation, l'éclairage de secours, etc., est fourni par une batterie d'accumulateurs qui peut être chargée par 2 génératrices de chacune 45 kw, 115-165 v et 600 t: mn.

Comme on l'a déjà dit ci-dessus, ces machines, ainsi que l'excitatrice de 225 kw, sont entraînés par une même turbine de 600 ch. Leur disposition est visible sur la photographie de la figure 18.

Dans la salle des machines, un pont roulant de 50 t permet de transporter les pièces les plus lourdes. Le rotor complet d'un alternateur pèse 44 t.

La portée du pont est de 16,15 m; sa hauteur totale de levage, 11 m.

La vitesse de levage, pour 50 t, est de 1,2 m : mn.

La vitesse du chariot, pour 50 t, est de 12 m : mn.

La vitesse de translation du pont, pour 50 t, est de 24 m : mn.

Tous les moteurs de ce pont sont des moteurs asyn-

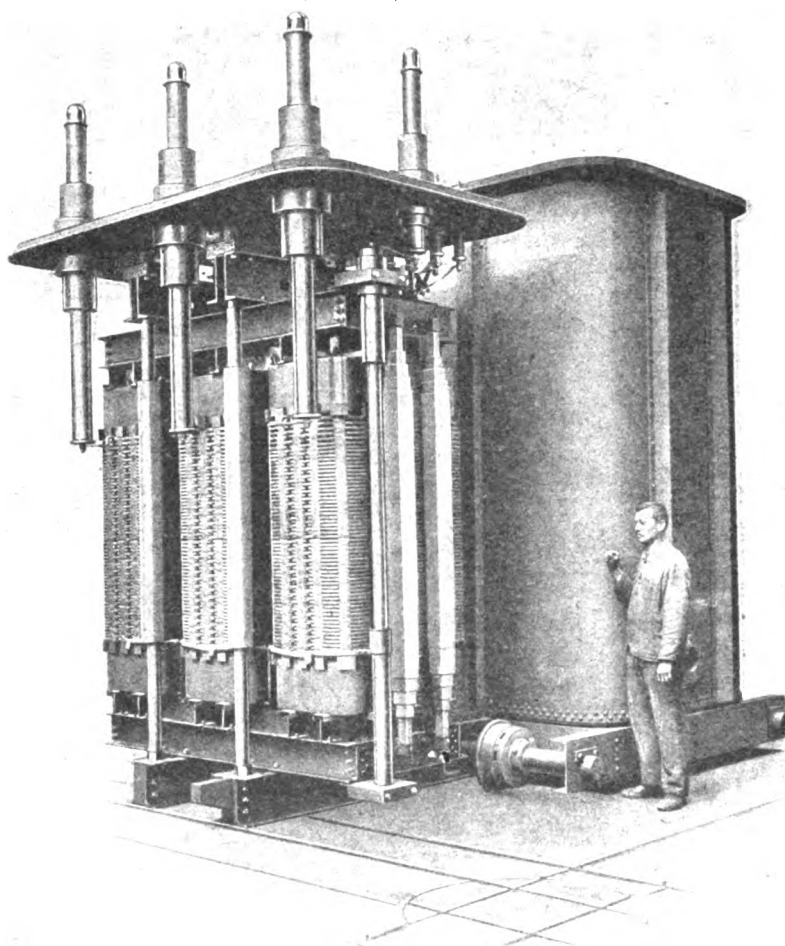


Fig. 19. — Transformateur triphasé de 9 000 kv-A, démonté.

chrones avec rotor à bagues, pour 200-210 v, 50 p : s. Le pont complet pèse 30 t.

TRANSFORMATEURS. — La tension des alternateurs est portée à 125 000 v par 4 transformateurs triphasés dont 3 sont actuellement en service. Ces transformateurs, livrés par les A. C. O., sont construits chacun pour 9 000 kv-A, 6 000/95 000/110 000/125 000 v et 50 p : s.

On voit, en figure 19 et 20, un de ces transformateurs sorti de sa cuve et un autre installé dans sa cellule.

Leurs fils neutres, du côté haute tension, sont raccordés à une barre collectrice commune qui est mise à la terre par une bobine de réactance. Toutes les prises de courant sont prévues sur le côté basse tension. L'enroulement haute tension est connecté en étoile pour tous les rapports de transformation.

| Rendement à 6 000/110 000 v, à | $\cos \varphi = 1$ | $\cos \varphi = 0,80$ |
|--------------------------------|--------------------|-----------------------|
| 9 000 kv-A | 98,9 | 98,6 pour 100 |
| 6 750 id | 98,9 | 98,6 id |
| 4 500 id | 98,8 | 98,4 id |
| 2 250 id | 98 | 97,4 id |

Chute de tension à 110 000 v,

| | |
|-------------------------------|---------------|
| pour $\cos \varphi = 1$ | 0,60 pour 100 |
| $= 0,8$ | 6,1 id |

Pertes dans le fer (à 110 000 v), 45.000 w;

Pertes dans le cuivre (à 110 000 v), 57 500 w;

Tension de court-circuit, 9,5 pour 100 (rapportée au couplage à 110 000 v);

Essai d'isolement, 250 000 v, tension produite dans le transformateur même, pendant une minute, avec le fil neutre de l'enroulement haute tension à la terre; 160 000 v, pendant une minute, entre l'enroulement basse tension et le fer.

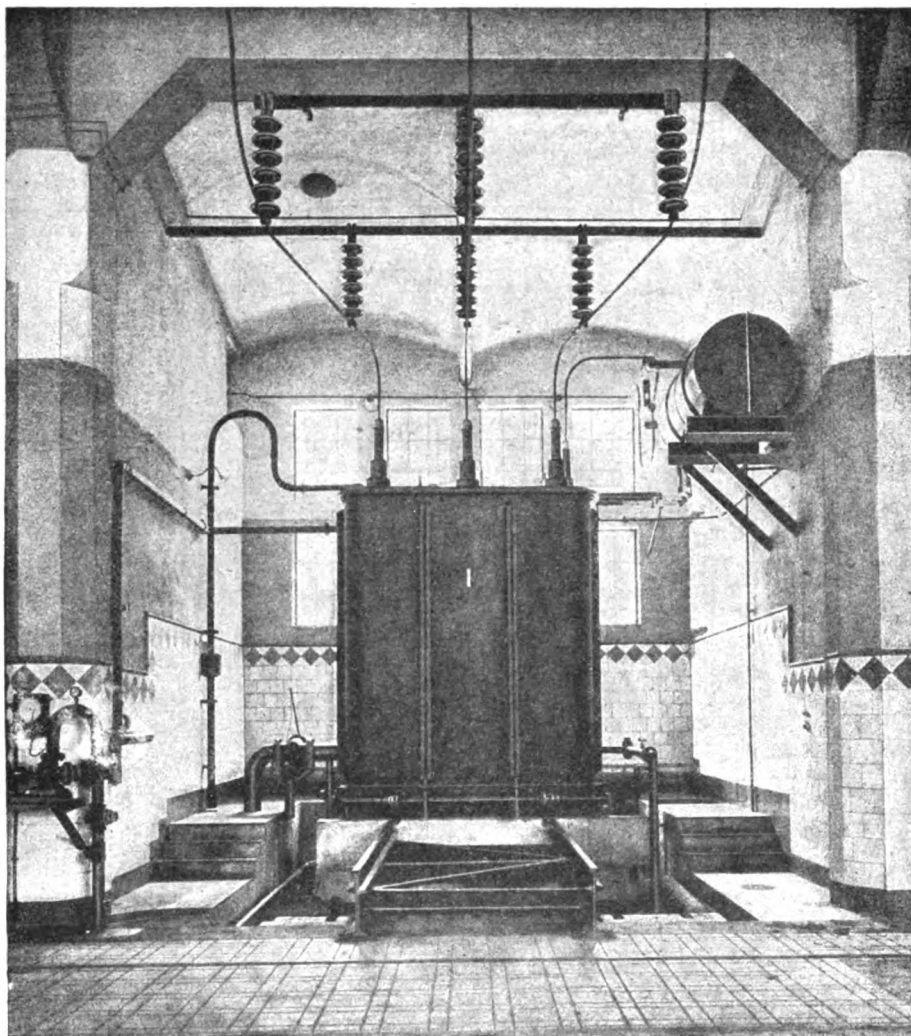


Fig. 20. — Transformateur de 9 000 kv-A pour 6000, 9 500, 110 000, 125 000 v., installé dans sa cellule.

Les valeurs pour la surcharge, l'échauffement, etc., répondent aux règles allemandes.

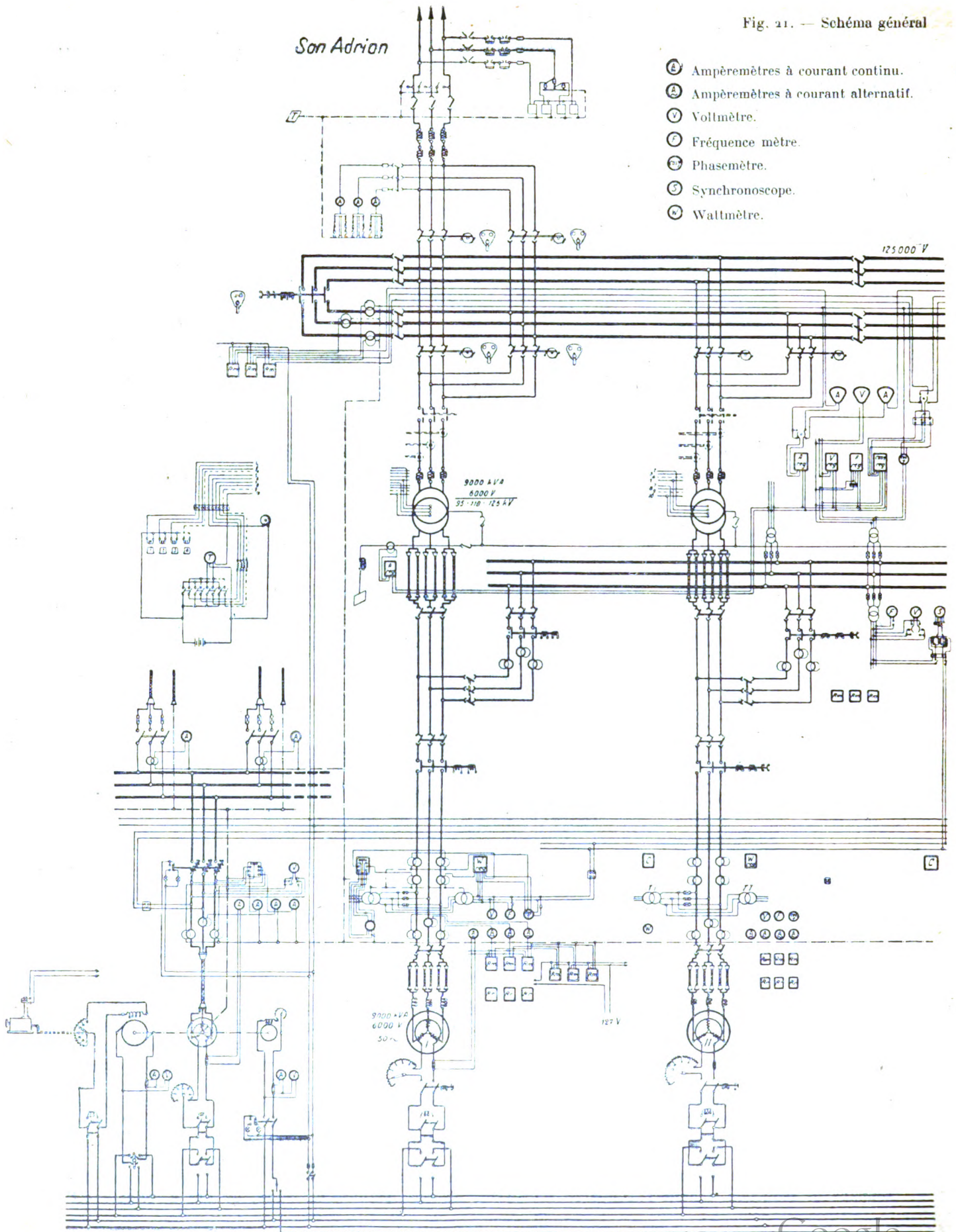
Le refroidissement des transformateurs est obtenu par une circulation artificielle de l'huile. Une pompe centrifuse actionnée par un petit moteur triphasé de 1 ch envoie, à travers un système de serpentins réfrigérants placés dans un bassin d'eau, l'huile chaude provenant de la couche supérieure des transformateurs. L'eau de refroidissement est prise dans la conduite forcée des turbines et sa pression est réduite par une soupape de réduction. L'huile refroidie est renvoyée

aux transformateurs par le bas de leurs cuves. Celles-ci, constituées par de la tôle de 8 mm, sont rivetées de manière à être étanches à l'huile et elles sont solidement renforcées à l'extérieur par des fers à T. Le conservateur d'huile est placé un peu au-dessus du transformateur. Un tuyautage spécial muni d'une soupape de sûreté permet de limiter les surpressions qui peuvent se produire dans la cuve en cas d'accident. Un thermomètre enregistreur marque la température dans la couche d'huile supérieure et un thermomètre à distance permet, en outre, de lire à volonté cette

Fig. 21. — Schéma général









Son Adrien

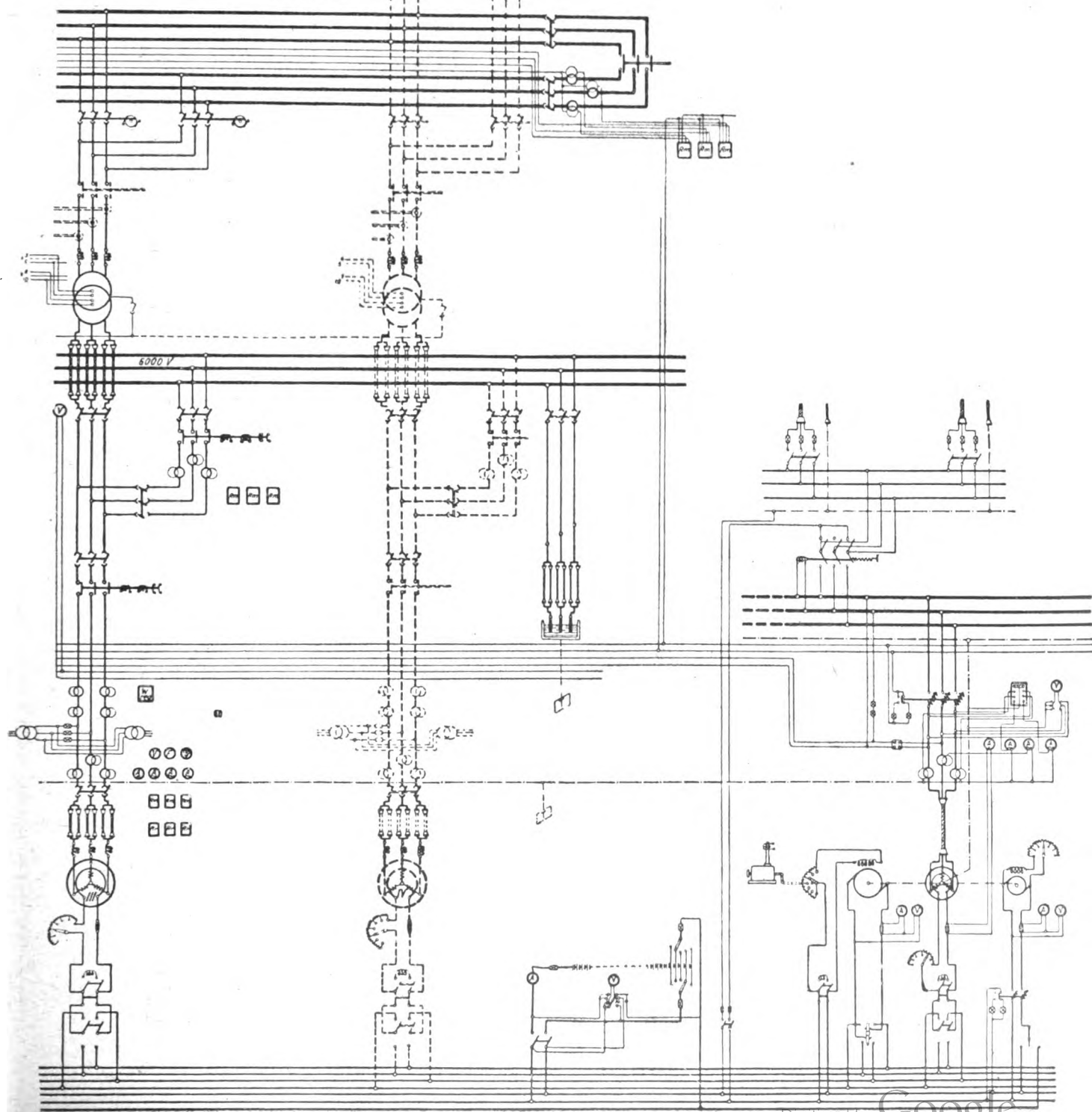
- Ⓔ Ampèremètres à courant continu.
- Ⓐ Ampèremètres à courant alternatif.
- Ⓥ Voltmètre.
- Ⓛ Fréquence mètre.
- Ⓟ Phasemètre.
- Ⓢ Synchronoscope.
- Ⓦ Wattmètre.



des connexions.

San Adrian

-  Wattmètre enregistreur.
-  Ampèremètre enregistreur.
-  Voltmètre enregistreur.
-  Fréquencemètre enregistreur.
-  Phasemètre enregistreur.
-  Compteur enregistreur.
-  Relais à courant maximum.
-  Relais à retour de courant.



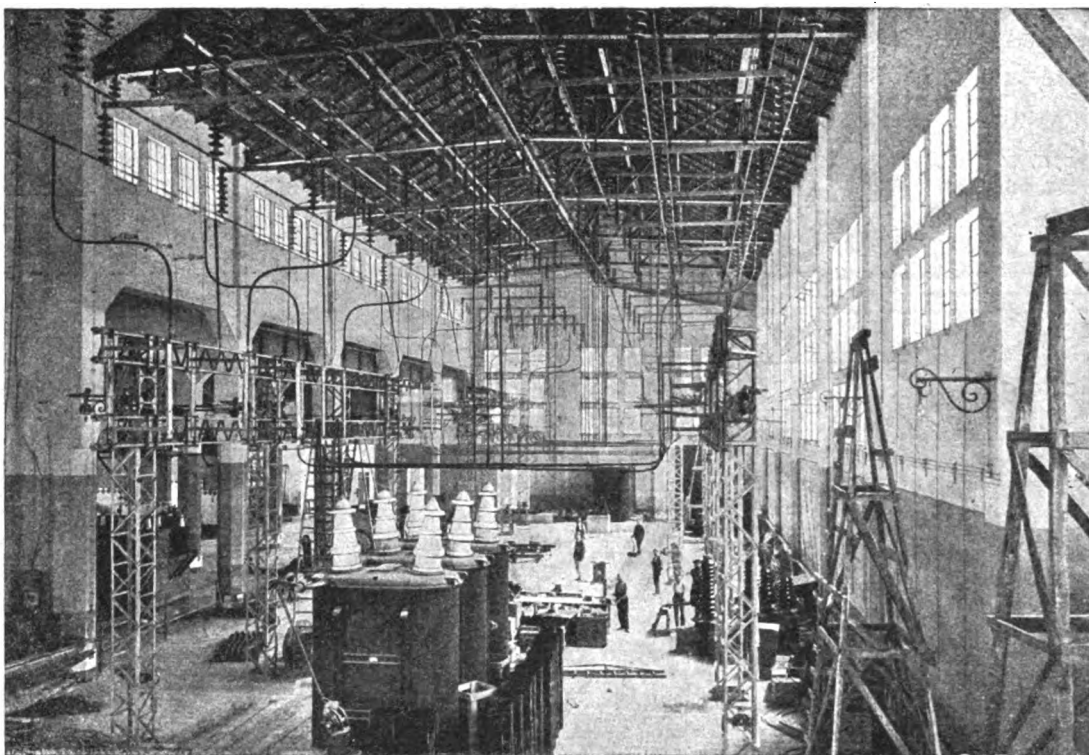


Fig. 22. — Salle à 125 000 v.

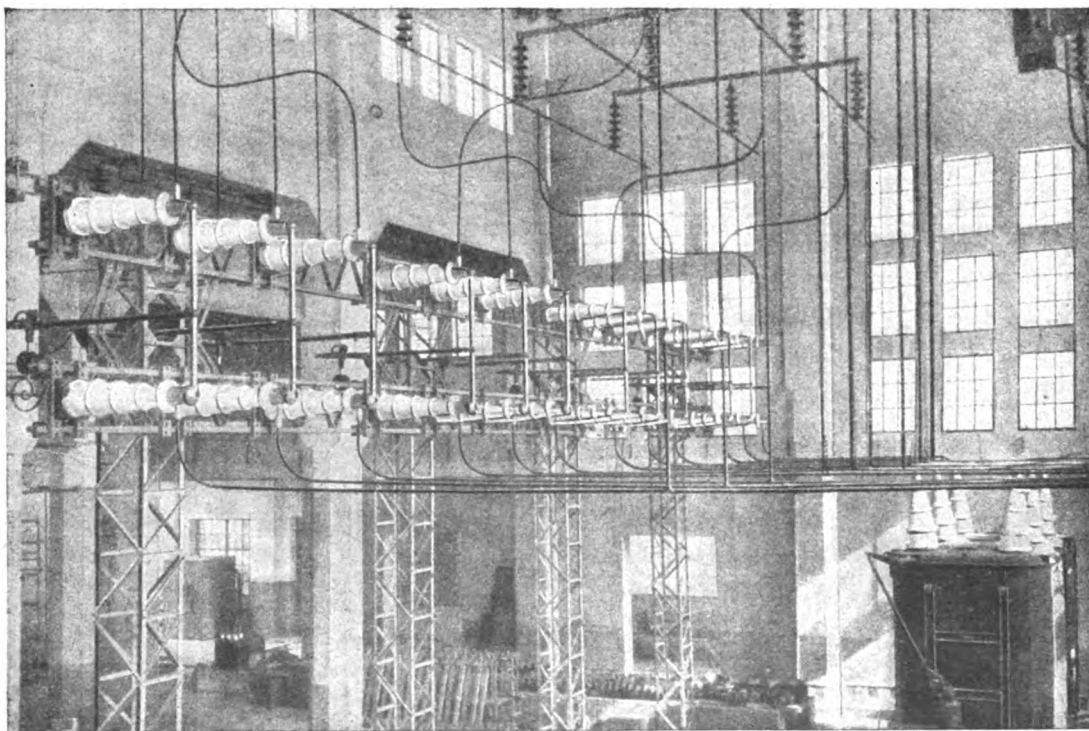


Fig. 23. — Salle à 125 000 v.

même température sur le tableau de distribution.

Ces transformateurs sont montés sur chariot. Un dispositif spécial est prévu pour les rouler dans leurs cellules ou les en retirer. Le pont roulant de 35 t de l'atelier de réparation, avec câbles et poulies, peut être employé à cet effet.

Les poids nets d'un transformateur de 9 000 kv-a sont les suivants :

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Cuve à huile | 5 500 kg |
| Conservateur d'huile | 700 |
| Partie active | 25 800 |
| Réfrigérant | 2 000 |
| Pompe à huile et moteur | 420 |
| Poids de l'huile (y compris celle du réfrigérant et du conservateur)... | 15 000 |
| Total | 49 220 kg |

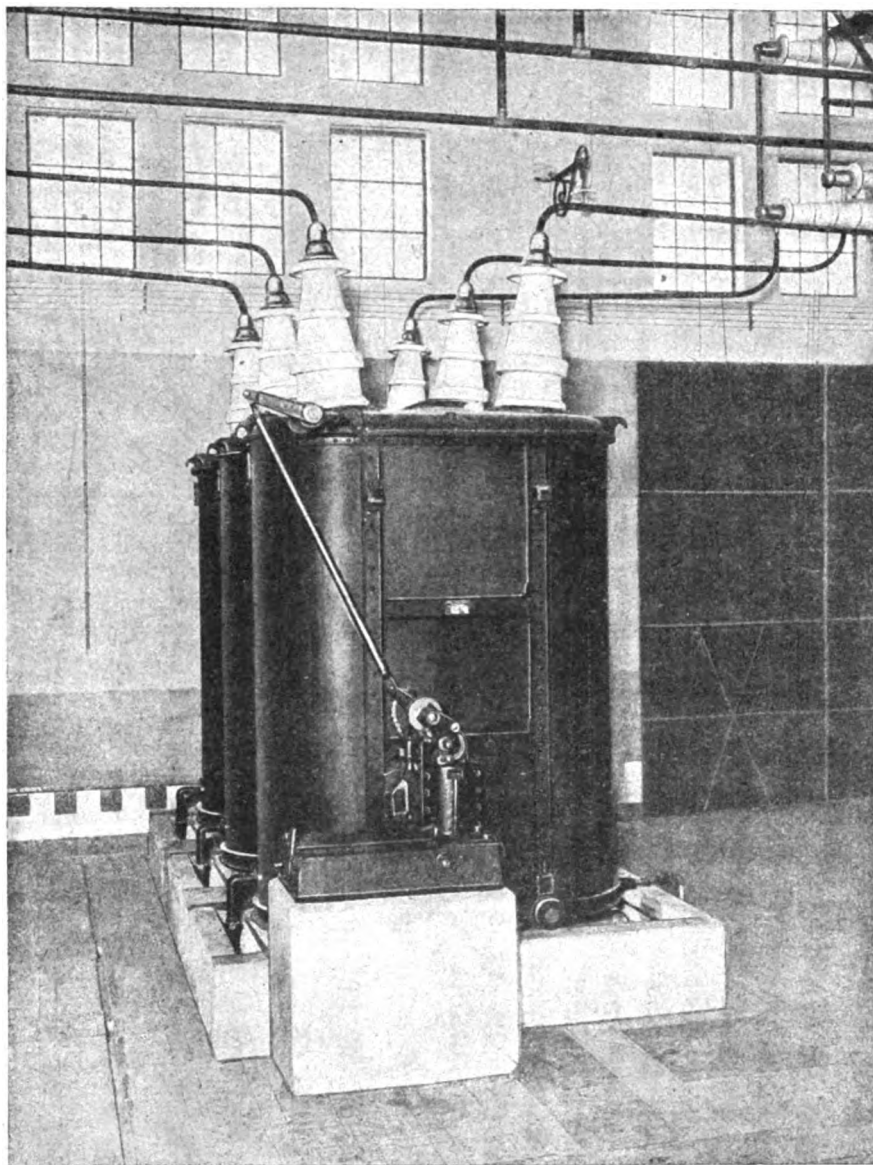


Fig. 24. — Interrupteur à bain d'huile de 130 000 v.

Dans le souterrain sont installés six réservoirs d'huile de 8 700 litres chacun qui sont raccordés entre eux ainsi qu'à un filtre-presse et aux transformateurs par une tuyauterie spéciale. Pour retirer un transformateur de sa cuve, on fait passer toute son huile dans les réservoirs précités, d'où on la lui renvoie ensuite

à travers le filtre-presse. Chaque cuve est munie d'une vanne de vidange qui, en cas d'incendie, permet de laisser couler rapidement l'huile enflammée dans un réservoir ouvert disposé sous la cellule du transformateur, et de là dans la rivière.

Pendant le service, il convient de contrôler la résis-

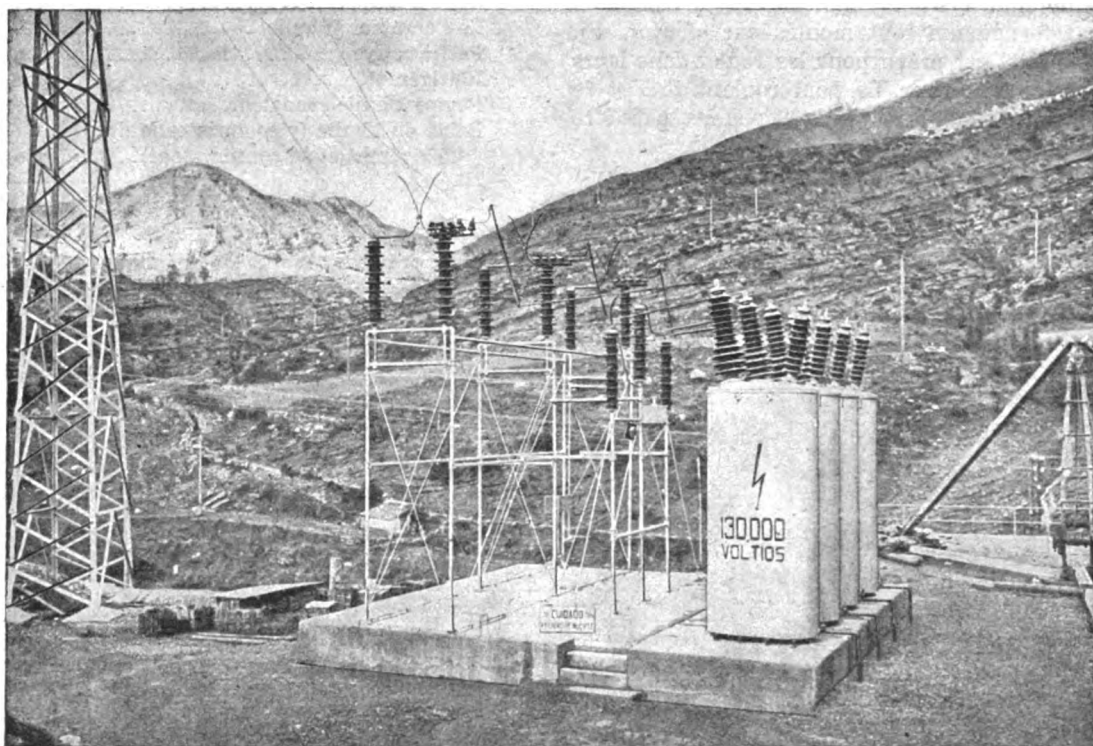


Fig. 25. — Appareils de protection électrolytiques montés aux sorties de la centrale de Seira.



Fig. 26. — Croisement de la ligne de transmission d'énergie avec la ligne de chemin de fer.

tance disruptive de l'huile, qui doit être maintenue à

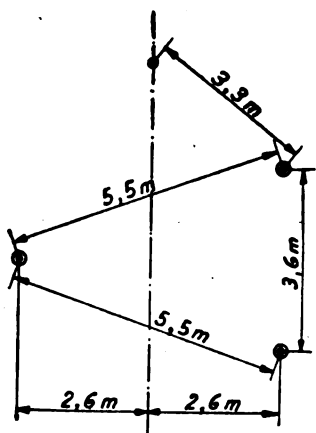


Fig. 27. — Schéma de la disposition des câbles de ligne et du câble de protection, par rapport à l'axe vertical du pylône.

une valeur minimum correspondant à une tension de 30 000 v entre deux points distants de 10 mm.

On atteindra cette valeur en filtrant l'huile; un filtrage prolongé et répété, à travers le filtre-presse dont le papier sera souvent renouvelé, permettra même de la porter à 40 000 v.

III. Installation de couplage. — Le schéma général des connexions est indiqué en figure 21. Le pupitre et le tableau de couplage sont placés à l'extrémité sud de la salle des machines sur un podium accessible par deux escaliers, et d'où l'on domine tous les groupes.

Le pupitre de couplage comprend 6 panneaux, dont quatre pour les instruments de mesure, les commandes des appareils des quatre alternateurs de 9 000 kv-a et les appareils de synchronisation; les deux autres sont pour les instruments de mesure et les commandes des excitatrices.

Le tableau de couplage comprend 18 panneaux, dont 10 sont à pupitre.

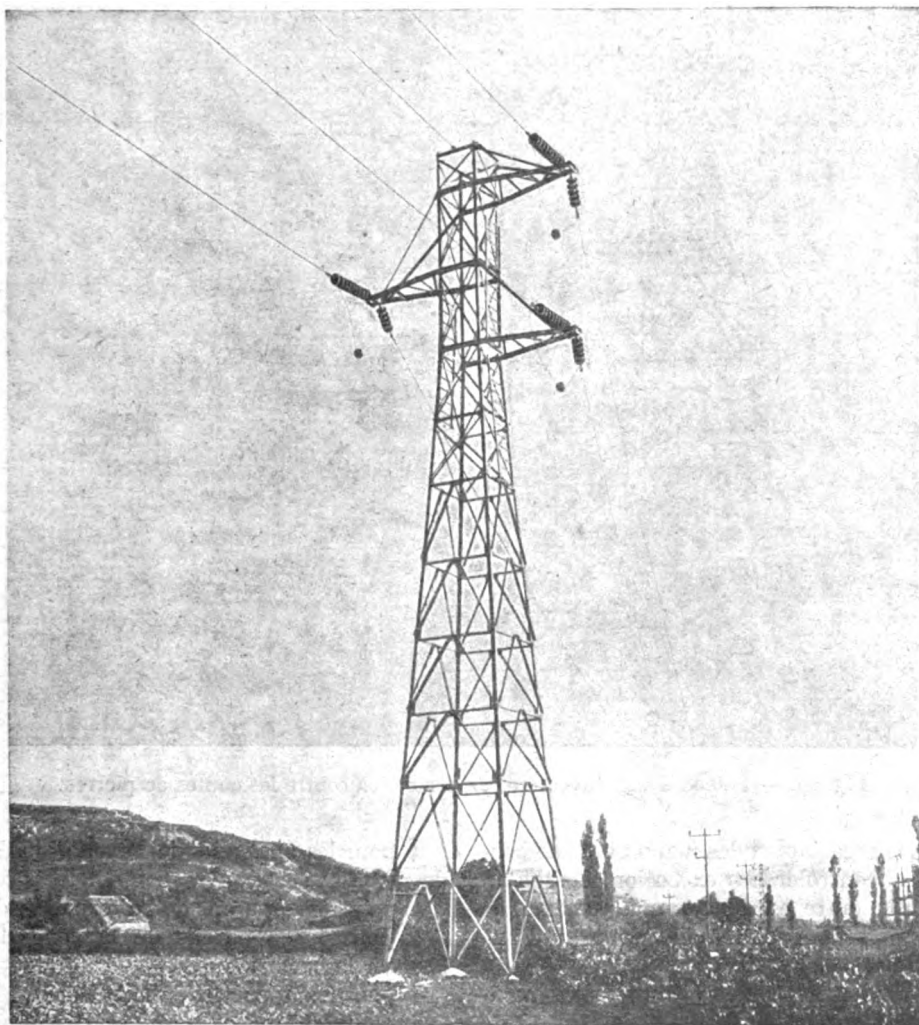


Fig. 28. — Poteau en treillis avec échelle d'accès aux pièces de coupure de la ligne.

Ils se répartissent de la façon suivante :

- 4 panneaux pour les instruments enregistreurs et les relais des alternateurs de 9 000 kv-A ;
- 3 panneaux pour le schéma de manœuvre ;
- 1 panneau de réserve ;
- 3 panneaux à pupitre pour les appareils de manœuvre des interrupteurs à huile de 115 000 v et les sectionneurs ;

- 4 panneaux à pupitre pour les groupes auxiliaires ;
- 2 panneaux à pupitre pour les appareils de sûreté ;
- 1 panneau à pupitre pour les batteries.

Le schéma de manœuvre est un schéma unipolaire de la centrale, dans lequel figurent toutes les machines avec leurs connexions ; les appareils de couplage y sont représentés par de petits commutateurs unipolaires.

Suivant ce schéma, l'électricien peut, en agissant sur

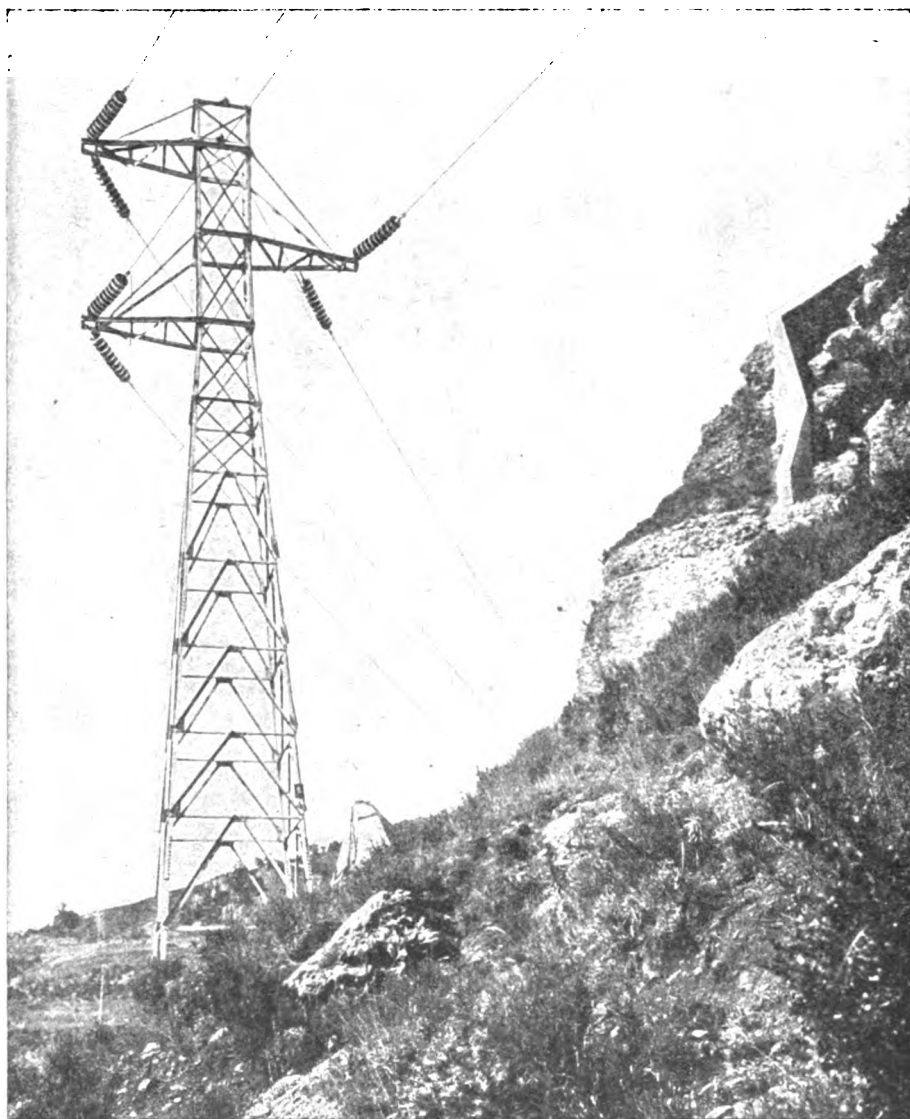


Fig. 29. — Poteau d'angle avec mur de protection contre les chutes de pierres.

les commutateurs, occasionner les manœuvres de couplage à effectuer et contrôler leur exécution. Lorsqu'un disjoncteur à huile entre en fonction, le schéma de manœuvre l'enregistre immédiatement au moyen d'une lampe qui s'allume.

Les appareils des excitatrices et des groupes auxiliaires sont montés sur un tableau spécial formé de 11 panneaux dont :

- 4 pour les appareils de l'excitation des alternateurs de 9 000 kv ;
- 2 pour les appareils de l'alternateur de 125 kv-A ;
- 2 pour les appareils de la génératrice servant à charger la batterie ;
- 1 pour les appareils de la batterie ;
- 2 pour les appareils du service interne de la centrale.

Ce tableau est placé dans la salle des machines, au-dessous du podium d'où peuvent être manœuvrés tous les appareils. Les commandes mécaniques qui partent soit du pupitre, soit du tableau de couplage, traversent le plancher du podium.

Dans la salle des machines se trouvent aussi, placés sous les escaliers du podium, les régulateurs série des alternateurs de 9 000 kv-a et les régulateurs shunt des excitatrices. Les premiers sont à commande électrique,

et les seconds, à commande mécanique à distance.

Tout au fond de la salle des machines, du côté des transformateurs, se trouvent les cellules des interrupteurs de 6 000 v pour les alternateurs, ainsi que les sectionneurs, les transformateurs d'intensité et de mesure, les boîtes d'extrémité de câbles des départs et un interrupteur à huile pour la résistance de charge employée aux essais.

Un système spécial de barres collectrices permet de

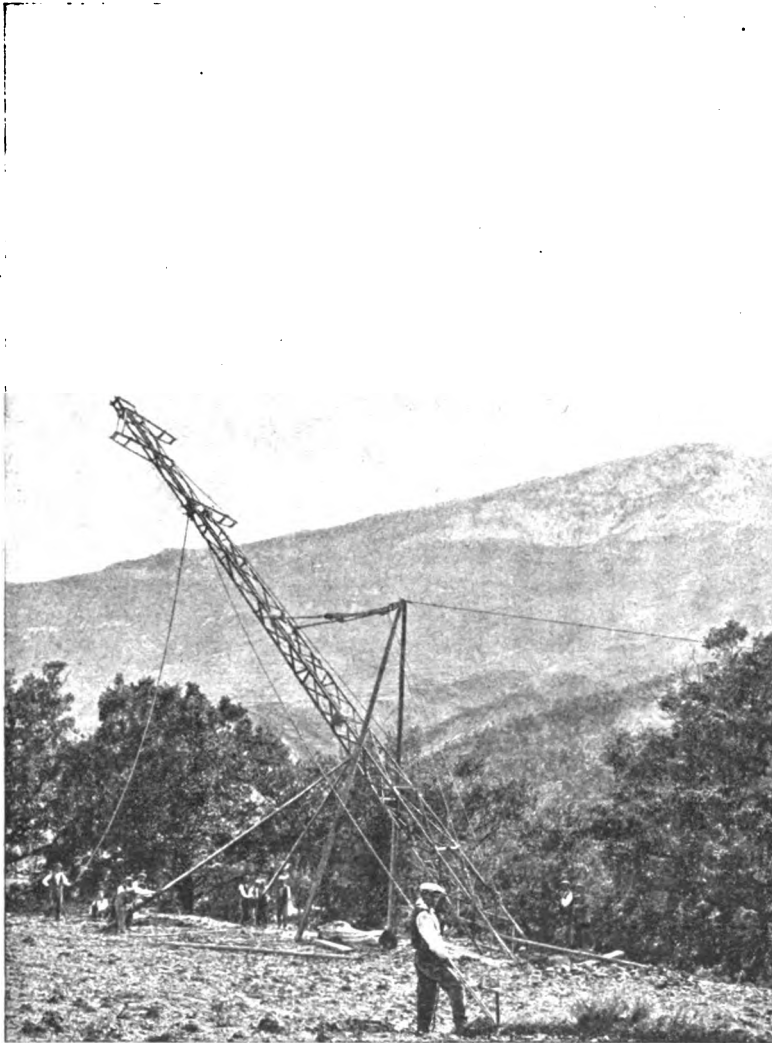


Fig. 30. — Hissage d'un poteau.

brancher un ou plusieurs alternateurs de 9 000 kv-a sur la résistance liquide, montée dans le canal de décharge, pour faire des essais de charge.

Derrière le tableau de couplage, sur le podium, se trouvent encore quatre cellules pour les interrupteurs à huile, à l'aide desquels les alternateurs peuvent être branchés sur les barres collectrices auxiliaires montées au-dessus des cellules. Pour permettre d'en évacuer rapidement l'huile en cas d'incendie, chaque cellule d'interrupteur est raccordée, par une conduite

d'écoulement, au canal de décharge des turbines.

Les câbles de 6 000 v qui relient les transformateurs aux interrupteurs des alternateurs sont posés au plafond et suivent ensuite un conduit spécial.

En service normal chaque alternateur travaille sur son transformateur. Les barres collectrices auxiliaires de 6 000 v sont alors sans courant, et les transformateurs ne sont couplés que sur la haute tension.

Les barres auxiliaires servent uniquement au branchement d'un alternateur sur les deux autres trans-

formateurs, où à la mise en parallèle de deux alternateurs.

Du côté haute tension, il est prévu un système de barres collectrices à boucle. Les conducteurs, qui ne présentent ni pointes, ni coudes brusques, sont formés de tuyaux à gaz de 4 cm et 2 cm environ de diamètre, raccordés entre eux par des manchons vissés et soudés. Ils sont suspendus à des chaînes de 6 isolateurs essayés chacun à sec sous une tension de 50 000 v. Suivant les besoins, les raccords entre les isolateurs de suspensions sont rigides ou articulés. Les figures 22 et 23 présentent deux aspects différents de la salle des conducteurs à 125 000 v.

Actuellement, du côté haute tension, il n'y a encore que deux interrupteurs à huile qui sont montés dans la boucle formée par les barres collectrices. Plus tard, chaque transformateur aura son interrupteur sur la haute tension.

Les interrupteurs de 125 000 v (fig. 24) fournis par les A. C. O., sont construits pour une intensité nominale de 150 A, une tension de service de 150 000 v, un courant de court-circuit de 2 000 A et une tension d'essai de 300 000 v.

Ils sont pourvus de bobines de réactances à deux échelons et de contacts cylindriques dont la vitesse de couplage est de 1 m : s.

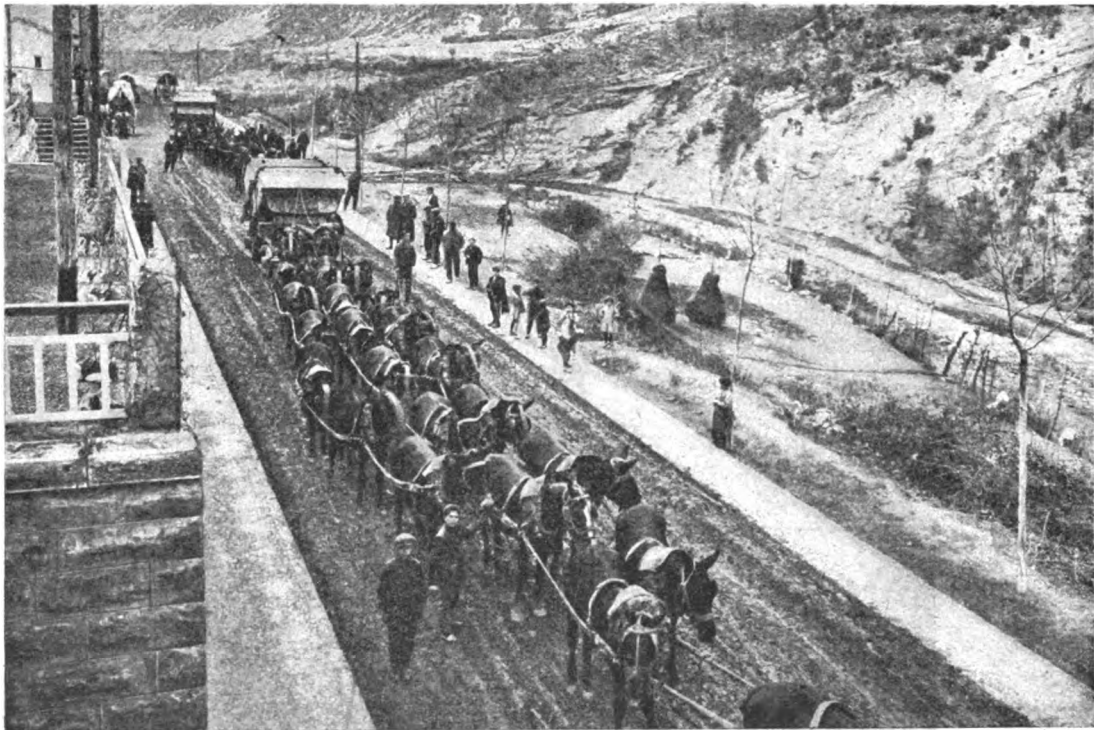


Fig. 31. — Transport d'un quart de stator.

Le commande électromagnétique est montée directement à côté des trois interrupteurs unipolaires qui sont raccordés entre eux par des accouplements rigides. Le poids d'un interrupteur unipolaire complet, y compris l'huile est environ de 7 500 kg.

Des sectionneurs permettent de brancher les transformateurs à volonté sur l'un ou l'autre système de barres collectrices de 115 000 v. Ce sont des appareils d'une construction très soignée, également fournis par les A. C. O. Les sectionneurs des transformateurs et des lignes sont à commande électromagnétique et peuvent être manœuvrés depuis le tableau.

D'autres sectionneurs prévus pour les interrupteurs et les barres collectrices sont à commande à main.

Tous ces appareils sont montés sur des charpentes

en treillis et construits pour les données suivantes :

| | |
|-------------------------------|-----------|
| Intensité normale..... | 100 A |
| Tension de service..... | 130 000 v |
| Courant de court-circuit..... | 2 000 A |
| Tension d'essai..... | 300 000 v |

Ainsi que nous l'avons déjà mentionné, les fils neutres des transformateurs, sur le côté haute tension, sont raccordés à une barre collectrice et mis à la terre par une bobine de réactance. En service normal cette bobine de réactance est sans courant, mais il s'y développe une tension dès qu'une phase présente une perte à la terre, et cette tension qui s'élève à la tension de phase (72 500 v) engendre un courant égal et opposé au courant à la terre, en empêchant ainsi toute formation d'arc au point défectueux.

IV. Appareils de protection. — A. CONTRE LES SURTENSIONS. — Chacune des deux lignes de transmission est munie, à sa sortie de la centrale, d'un parafoudre électrolytique et d'une mise à la terre par jets d'eau, montés à l'extérieur, comme on le voit sur la figure 25.

De fortes bobines de réactance sont, en outre, intercalées dans les conducteurs devant les bornes des transformateurs et dans les traversées de mur par lesquelles les lignes sortent de la centrale.

Les parafoudres électrolytiques sont chargés deux fois par jour. A cet effet, on rapproche l'une de l'autre leurs cornes dont la distance en service normal est environ de 125 mm, mesurée entre les hémisphères de 62,5 mm de diamètre montés sur les cornes.

B. CONTRE LES COURANTS TROP FORTS. — Les appareils employés pour protéger l'installation contre les courants trop forts sont des relais à temps variable avec l'intensité et des relais à temps fixe, construits par les Ateliers de Construction Oerlikon.

Les alternateurs sont en outre protégés par des relais à retour de courant.

Ces relais servent à déconnecter automatiquement les alternateurs en cas d'accident interne et sont également prévus, dans le même but, sur le côté haute tension des transformateurs de 9000 kv-A.

Un dispositif spécial est aussi prévu pour réduire momentanément la tension des alternateurs, lorsque, en cas de courts-circuits ou de mise à la terre accidentelle sur la ligne, le courant dépasse une certaine intensité réglable, et la ramener ensuite à sa valeur normale.

On évite ainsi le déclenchement intempestif des disjoncteurs dans la centrale en cas de courts-circuits passagers, et les interruptions qui en résulteraient dans le service. Il ne se produit plus qu'une simple variation de tension. Toute l'installation a été étudiée et construite pour obtenir la plus grande sécurité de service avec le plus de simplicité et la disposition la plus claire.

V. Lignes de transmission. — L'installation complètement achevée comprendra deux lignes de transmission entre Seira et Barcelone, montées sur poteaux séparés.

Actuellement une seule de ces lignes est en service. Elle mesure 250 km et chaque phase comprend un câble de cuivre de 85 mm² de section (7 fils de 4 mm de diamètre). La photographie de la figure 26 a été prise à un point de croisement du réseau aérien avec la ligne de chemin de fer.

Un câble protecteur en acier, de 50 mm² de section, est tendu au-dessus des 3 câbles conducteurs et raccordé à une plaque de terre tous les 4 poteaux. Tous ces câbles sont disposés suivant le schéma de la figure 27. Pour toute la ligne, il a été prévu 14 types différents de poteaux en treillis (fig. 28 et 29), dont le nombre total s'élève à 1 512. Leur hauteur varie de 18,16 à 35 m et leur poids, de 1 125 à 5 078 kg. La plus grande portée est de 400 m. Les câbles en cuivre sont suspendus à des chaînes formées de 9 à 10 isolateurs pour les suspensions dans les régions élevées et de 8 à 9 isolateurs pour les suspensions dans les régions basses. Ces isolateurs sont tous munis de pointes de décharge. La ligne de transport traverse une contrée très montagneuse avec des différences d'altitude d'environ 1 200 m.

Les câbles conducteurs forment un système toroné qui présente un angle de rotation de 120° tous les 4 km.

La résistance linéique du câble de cuivre est de 0,2077 ohm : km à 15 °C ; la self-induction linéique par phase est de 0,001395 H : km et la capacité linéique, de 0,00830 pF : km.

Le courant de charge de la ligne est de 44 A par phase pour une tension de 125 000 V au départ, ce qui correspond à une puissance apparente de 9 500 kv-A.

Trois sous-stations de 6 000 kv-A chacune sont raccordées à la ligne entre Seira et Barcelone ; ce sont les sous-stations de Perarua, de Manresa et de Sabadell.

La plus grande sous-station, d'une puissance de 360 000 kv-A, se trouve à San Adrian près de Barcelone où la tension de ligne est transformée de 50 000 à 6 000 V.

Nous terminerons cette description par la reproduction de deux photographies qui représentent l'une (fig. 30) la manœuvre de hissage d'un poteau ; l'autre (fig. 31), un convoi de mulets trainant un quart de stator de la gare de débarquement à pied d'œuvre.

J. REYVAL.

Revue, analyses et informations

Réchauffage et production d'eau d'alimentation par la vapeur d'échappement des turbines auxiliaires (1).

Le prix élevé du charbon, qui ne reviendra jamais au taux d'avant-guerre, conduit à rechercher par tous les moyens possibles une économie de combustible.

(1) *Revue B. B. C.*, éditée par la Société Brown, Boveri et Cie, au 1921, t. VIII, p. 92-94, 3 200 mots, 2 figures.

Actuellement, les turbines à vapeur ont atteint un degré de perfection tel qu'on ne peut plus espérer voir améliorer leur rendement.

On ne peut donc chercher une économie que dans l'augmentation de la chute de température et dans l'utilisation la plus complète que possible de la chaleur latente disponible.

Du côté de la chute de température, on a atteint des valeurs initiales correspondant à des pressions de 32 atmosphères absolues et à des températures de 400 °C ; d'autre part, on obtient, dans les condenseurs, des vides de 90 à 97 pour 100

pour une température d'eau de réfrigération de 15° C.

L'obtention des vides aussi élevés conduit à des surfaces de refroidissement beaucoup plus grandes et à des quantités d'eau de réfrigération plus considérables que celles utilisées autrefois.

Les frais d'installation sont donc plus élevés, ainsi que la consommation d'énergie nécessitée par les pompes à vide et de circulation. Pour qu'il y ait économie, il faut que le rendement total de l'installation soit meilleur, et, par suite, le rendement des pompes doit être excellent. La commande de celles-ci joue également un rôle important : elle peut être électrique ou à vapeur ; la commande par turbine à vapeur l'emporte d'ailleurs au point de vue sécurité de service.

Si on adopte ce dernier système de commande, il y a lieu de récupérer au maximum la chaleur latente de la vapeur d'échappement de la turbine auxiliaire, en l'utilisant au réchauffage de l'eau d'alimentation avant son passage dans l'économiseur.

Certains prétendent que le réchauffage avant l'économiseur ne produit pas d'économie, une partie de la chaleur fournie à l'eau servant à réchauffer les gaz de combustion. En réalité, il y a bien une légère perte mais, dans l'ensemble, il y a gain ; si on suppose, par exemple, que le réchauffage avant l'économiseur est de 50° C, sur les 50 calories fournies, 6,25 calories seulement sont perdues à nouveau et le gain de quantité de chaleur est de 43,75 calories, soit une économie de charbon de 6 pour 100 environ. Il va de soi que des gains de cette importance ne peuvent être réalisés que lorsqu'on ne peut pas, sans réchauffage préalable, atteindre des températures finales de l'eau d'alimentation voisines de la température de la vapeur.

Dans les nouvelles installations on devrait, pour obtenir le maximum de rendement, employer les gaz de combustion pour réchauffer l'air qui sert à la combustion du charbon, et réchauffer l'eau d'alimentation des chaudières, soit par l'utilisation de la chaleur latente de la vapeur d'échappement des turbines auxiliaires quand on emploie ces machines pour la commande des pompes, soit par l'utilisation de la chaleur latente de la vapeur prise à un endroit convenable de la turbine principale lorsqu'on utilise la commande électrique pour les pompes.

L'utilisation de la vapeur d'échappement des turbines auxiliaires pour le réchauffage de l'eau d'alimentation présente certaines difficultés. En effet, si la charge de la turbine principale diminue, le débit d'eau condensée diminue également ; comme, d'autre part, la consommation de la turbine auxiliaire reste constante, l'eau d'alimentation des chaudières s'échauffe trop. On a proposé de remédier à cet état de choses, soit en laissant écouler à charge décroissante une partie de la vapeur auxiliaire dans le condenseur, d'où perte importante, soit en employant une commande mixte à vapeur et électrique, le moteur électrique fournissant une part de l'énergie nécessaire à l'alimentation des pompes d'autant plus grande que la charge de la machine principale est plus faible, d'où des frais d'installation élevés.

La Société Brown-Boveri a fait breveter le système que nous décrivons ci-dessous et qui a l'avantage d'assurer à l'eau condensée une température sensiblement constante (fig. 1).

La vapeur d'échappement de la turbine auxiliaire a passe dans le réchauffeur b et est envoyée ensuite dans un étage correspondant c de la turbine principale. La turbine auxiliaire fonctionne ainsi comme une turbine à contre-pression, sa pression finale se confondant avec la pression variable d'un étage convenablement choisi de la turbine principale.

La température de saturation de la vapeur d'échappement

et, par suite, la quantité de chaleur laissée au réchauffeur, varient en fonction de la contre-pression. Celle-ci décroît avec la charge de la turbine et en même temps la chaleur

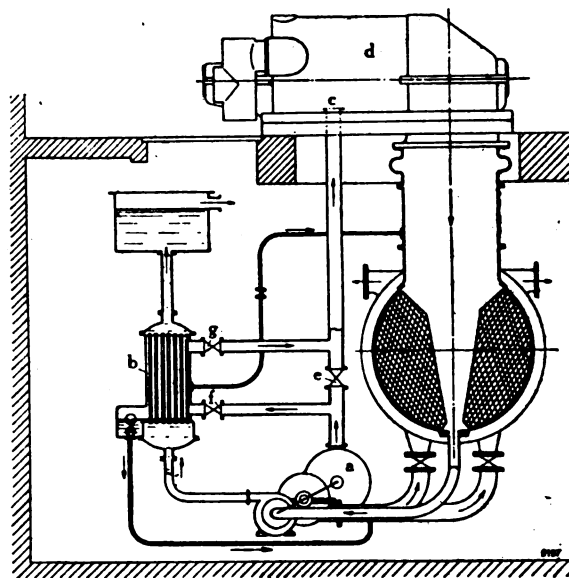


Fig. 1. — a, Turbine auxiliaire pour les pompes de condensation ; b, réchauffeur pour la vapeur d'échappement de la turbine auxiliaire ; c, injections de la vapeur d'échappement dans la turbine principale ; d, turbine principale ; e, f, g, tiroirs.

transmise au réchauffeur diminue proportionnellement. Il en résulte que la température finale de l'eau condensée reste la même.

Le système présente encore le grand avantage de permettre un réchauffage plus ou moins intense indépendamment du débit de la vapeur d'échappement de la turbine auxiliaire. Supposons qu'à pleine charge le réchauffage exige une quantité de vapeur plus grande que celle fournie par la turbine auxiliaire. L'injection de vapeur c devient une prise de vapeur et c'est la turbine principale qui fournit le supplément de vapeur. Quand la charge diminue la prise de vapeur diminue également puis s'annule et enfin une partie de la vapeur d'échappement de la turbine auxiliaire ne peut plus être condensée dans le réchauffeur et est introduite dans la turbine principale où elle se détend jusqu'à la pression du condenseur en fournissant son travail.

Un autre avantage de cette disposition est qu'à charge élevée la partie basse pression de la turbine principale est déchargée de la vapeur d'échappement de la turbine auxiliaire ainsi que de la vapeur supplémentaire extraite de la turbine principale ; par contre, à faible charge, la vapeur d'échappement de la turbine auxiliaire passe dans la turbine principale, y produit un travail supplémentaire sensible, mais insuffisant pour provoquer l'emballement lors de la marche à vide. Cette dernière propriété permet de supprimer les soupapes by-pass, ou autres systèmes utilisés lorsque les turbines auxiliaires sont liées directement aux turbines principales.

Si on veut supprimer partiellement le réchauffage il suffit d'ouvrir plus ou moins le tiroir e, si on veut le supprimer totalement on ouvre e et on ferme les tiroirs f et g.

L'addition au dispositif ci-dessus d'une vaporisation avant le réchauffeur (fig. 2) permet la production d'eau d'alimentation additionnelle.

Dans ce cas la vapeur d'échappement de la turbine a passé dans le vaporisateur b avant d'être introduite par c dans la turbine principale d. Cette vapeur d'échappement est, suivant les besoins et par des dimensions convenablement choisies de la surface de refroidissement, condensée partiellement

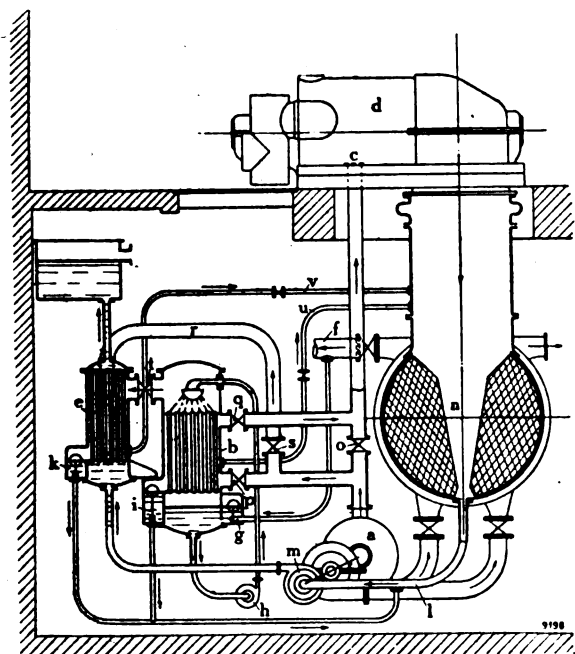


Fig. 2. — a, Turbine auxiliaire pour les pompes de condensation; b, vaporisateur; c, injection de la vapeur d'échappement dans la turbine principale; d, turbine principale; e, réchauffeur; f, tuyau d'échappement du condenseur; g, flotteur pour le réglage du niveau d'eau du vaporisateur; h, pompe de circulation; i, k, soupapes commandées par des flotteurs; l, tuyau d'aspiration de la pompe d'extraction; m, pompe d'extraction; n, condenseur.

ment ou totalement et cède sa chaleur latente à l'eau qu'on veut vaporiser.

La vapeur produite par le vaporisateur passe dans le réchauffeur où elle est condensée à nouveau en cédant sa chaleur latente à l'eau de condensation.

L'addition du vaporisateur n'exige pas de chaleur supplémentaire, mais seulement une augmentation de la chute de température. Si les conditions de l'installation ne permettent pas d'obtenir la chute de température nécessaire, on peut toujours y remédier en augmentant en conséquence les surfaces des appareils de transmission de chaleur.

Un raisonnement analogue à celui fait plus haut montrerait que le second dispositif permet le réglage automatique de la quantité d'eau distillée additionnelle produite. On a intérêt à alimenter le vaporisateur avec de l'eau de refroidissement provenant du tuyau d'échappement f du condenseur, eau qui s'est déjà réchauffée d'environ 10° C dans le condenseur. Cette eau est introduite dans le vaporisateur par un flotteur qui maintient le niveau de l'eau constant quel que soit le débit du vaporisateur. L'eau est maintenue constamment en circulation par une petite pompe h. Le liquide vaporisé doit être, selon les besoins, sorti et remplacé de temps en temps. Deux soupapes i et k qui sont reliées au tuyau d'aspiration l de la pompe de condensation m recueillent l'un, l'eau condensée de la vapeur de chauffe dans le réchauffeur, l'autre les eaux condensées dans le

vaporisateur. Ces eaux condensées se mêlent ensuite à celles qui proviennent du condenseur.

Le vaporisateur et le réchauffeur peuvent être isolés totalement ou partiellement à l'aide des tiroirs o, p et q. On peut également isoler le vaporisateur seul, soit totalement, soit partiellement, et envoyer directement au réchauffeur la vapeur d'échappement de la turbine auxiliaire, ceci s'obtient en ouvrant plus ou moins le tiroir s d'où la vapeur d'échappement passe par le by-pass r dans le réchauffeur.

Lorsque la charge est faible, il peut arriver que la turbine auxiliaire travaille avec un certain vide. Pour éviter l'emploi d'une pompe à air spéciale, les chambres de chauffe du vaporisateur et du réchauffeur sont reliées par les conduites t et u au condenseur ou à la bride d'échappement de la turbine principale.

Enfin on peut remarquer que l'introduction d'un vaporisateur ou d'un réchauffeur permet de réduire la surface du condenseur principal qui est déchargé de la vapeur condensée dans ces appareils.

En résumé, les dispositifs décrits ci-dessus permettent en plus de l'utilisation de la chaleur latente de la vapeur d'échappement des turbines auxiliaires :

- 1° De maintenir automatiquement constante la température de l'eau condensée indépendamment de la charge de la turbine principale;
- 2° De produire une quantité additionnelle d'eau d'alimentation pour la chaudière sans dépense de chaleur supplémentaire;
- 3° De régler automatiquement le débit de l'eau condensée produite suivant la consommation de vapeur de la turbine principale. — H. C.

Compensateur de phase à excitation shunt ⁽¹⁾.

La question de l'emploi des génératrices asynchrones, dans le but d'utiliser au mieux les ressources hydrauliques disponibles, a été, de nouveau, dans ces derniers temps, mise à l'ordre du jour; de ce fait, l'attention se trouve également appelée sur les compensateurs de phase qui sont l'auxiliaire, estimé indispensable, du type de génératrice mentionné.

Dans le mode d'exploitation considéré, il importe, d'ailleurs, que la compensation ait lieu aussi bien à vide qu'en charge, la machine accouplée à la turbine étant susceptible, suivant les variations du régime de la distribution, de fonctionner, soit comme génératrice, soit comme moteur, dans des conditions qu'il n'est point possible de prévoir à l'avance. Les compensateurs de phase construits sur le principe de l'excitation en série, ne sont pas applicables, dans ce cas, attendu que si la compensation est établie, pour le fonctionnement en génératrice, il en résulte, dans la marche comme moteur, un déphasage important en arrière qui a pour effet de réduire d'une façon notable le couple maximum, au point de provoquer le décrochage.

Le changeur de fréquence adopté pour la compensation de phase, de la Siemens-Schuckert Werke, ne donne point lieu, il est vrai aux mêmes objections, à ce point de vue; mais il comporte, par contre, le désavantage de nécessiter la marche au synchronisme avec le rotor de la machine asynchrone, d'où des restrictions de construction concernant le nombre de pôles ou le mode de commande d'entraînement, nécessitant l'intermédiaire d'engrenages.

Le compensateur de phase construit comme machine d'essai par la Société Brown, Boveri et Co à Baden (Suisse)

(1) Arthur SCHERBIUS. *E. T. Z.*, 1^{er} septembre 1911, t. XLII, p. 969-970, 1 800 mots. 4 fig.

offre cet avantage que, n'exigeant pas la marche au synchronisme avec la machine principale, il peut être établi pour un nombre de tours arbitraire et être installé en un endroit quelconque en l'actionnant, soit par courroie, soit par un moteur séparé.

Le schéma de ce type de compensateur, qui peut recevoir la dénomination de machine triphasée à excitation shunt, est représenté sur la figure 1. Dans cette figure, A désigne

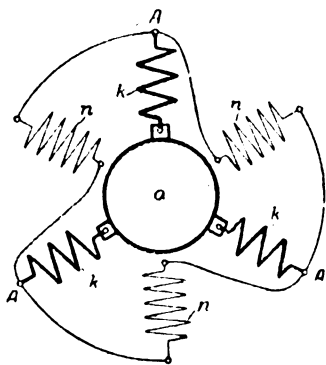


Fig. 1.

l'armature, k, l'enroulement compensateur, parcouru par le courant principal, n, un enroulement exciteur, qui peut être disposé sur des pôles saillants. Des pôles auxiliaires de commutation peuvent être ajoutés, mais leur emploi n'est pas indispensable; dans le moteur d'essai construit à Baden, on s'est borné à prévoir des fentes dans la zone de commutation. Il est également possible de supprimer l'enroulement compensateur k, à condition de donner à l'entrefer une largeur suffisante.

Les diagrammes reproduits fig. 2 et 3 permettent de se rendre compte du fonctionnement du compensateur. Dans ces diagrammes, e , représente la tension primaire, e_r la tension appliquée au rotor (tension de glissement), i_a le courant magnétisant, i_1 le courant primaire, i_2 le courant secondaire de la machine asynchrone. Le compensateur est connecté aux bagues de cette dernière par l'intermédiaire des bornes A (fig. 1). La tension de glissement est équilibrée par la chute de tension ohmique correspondant au courant secondaire circulant dans le rotor $i_2 r_r$, par la chute de tension ohmique correspondant au même courant circulant dans l'armature du compensateur $i_2 r_a$, et par la force électromotrice de rotation e_a , développée dans cette machine. L'enroulement exciteur shunt n, (fig. 1), est connecté aux bornes du compensateur, le champ inducteur engendré dans l'un des pôles de la machine étant en phase avec le courant d'excitation correspondant.

L'examen des diagrammes (fig. 2 et 3) montre, en particulier, que le déphasage entre la tension aux bornes du compensateur k et la force électromotrice de rotation e_a , lequel déphasage augmente en même temps que la charge de la machine principale, est provoqué par la chute de tension $i_2 r_a$ correspondant au courant i_2 déphasé par rapport à e_r .

Le diagramme relatif au circuit d'excitation, triangle OBC des figures 2 et 3, est représenté séparément en figure 4; dans ce diagramme, k désigne la tension aux bornes, $i_a r_n$ la chute de tension ohmique relative au courant i_a circulant dans l'enroulement d'excitation et $i_a 2\pi c_2 L_n$ la chute de tension inductive correspondant au même courant, pour la fréquence de glissement c_2 . Comme l'extrémité de k, lorsque

la charge varie, se meut sur BC, la tension aux bornes engendre, pour toutes les valeurs de la charge, un courant d'excitation constante en grandeur et en phase; celui-ci donne naissance, à son tour, à un champ inducteur également constant en grandeur et en phase, d'où la production d'une force électromotrice de valeur constante. La chute de tension inductive $i_a 2\pi c_2 L_n$ se trouve exactement équilibrée, pour toutes les valeurs de la charge, par la tension aux bornes qui varie dans la proportion requise en grandeur et en phase, si l'on a soin d'adopter pour le rapport de r_n à L_n , c'est-à-dire de la résistance à la self-induction de l'enroulement d'excitation, une valeur appropriée, convenant pour une valeur arbitraire de la charge. La solution du problème ainsi posé n'offre, pratiquement, aucune difficulté spéciale, en raison de l'amplitude suffisamment faible de l'écart entre les grandeurs correspondant aux conditions normales et extrêmes. Il est possible, naturellement, d'intercaler dans le circuit, en vue du réglage, des résistances ohmiques ou inductives.

Les diagrammes représentés figures 2, 3 et 4 ne tiennent pas compte du courant d'excitation du compensateur et de

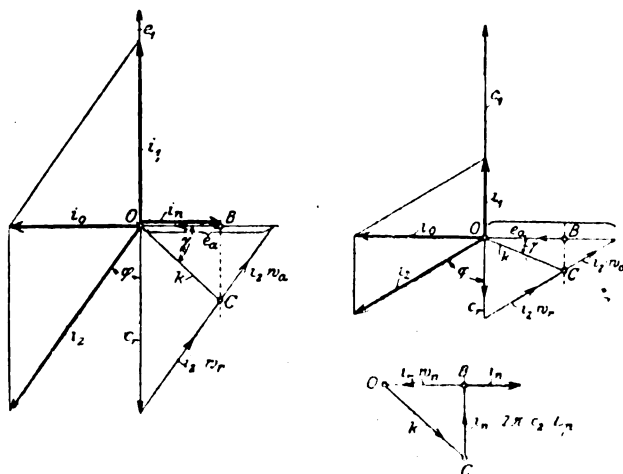


Fig. 2, 3 et 4.

la dispersion qui se produit dans cette machine et la machine asynchrone: ces deux facteurs ont pour effet de changer légèrement les résultats, de telle sorte que la compensation n'est plus parfaite pour les charges les plus élevées; l'influence qu'ils exercent peut être neutralisée en établissant le moteur pour une certaine hypercompensation dans la marche à vide, si, du moins, on tient à éviter les inconvénients d'un réglage subséquent au moyen d'une modification de l'excitation.

Les résultats obtenus avec la machine d'essais ont justifié, d'une façon complète, les prévisions basées sur la théorie. La compensation dans la marche à vide, pour l'un et l'autre des régimes de fonctionnement de la machine asynchrone (en génératrice ou en moteur), a été irréprochable. L'excitation, en particulier, n'a rien laissé à désirer au point de vue de la stabilité, grâce à la précaution prise, dans l'établissement de la machine, de calculer les inducteurs pour une saturation suffisante.

Il convient de noter, en terminant, que le compensateur du type mentionné peut être utilisé en conjonction avec des machines asynchrones, au lieu et place de condensateurs synchrones, comme avanceur de phase, pour relever le facteur de puissance sur les lignes de transmission. — L. D.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Banque française pour le Commerce et l'Industrie.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 23 DÉCEMBRE 1921.

Le rapport du Conseil fait ressortir la bonne situation de la Banque, ainsi que l'activité manifestée par elle malgré l'acuité de la crise, au cours du dernier exercice.

Toutes les résolutions proposées par le Conseil ont été approuvées à l'unanimité.

Les bénéfices nets de l'exercice se sont élevés à 8 591 067 fr contre 7 397 561 fr pour l'exercice précédent. Ils ont été consacrés à amortir intégralement la perte résultant des opérations de change engagées irrégulièrement par un fondé de pouvoirs.

L'assemblée a décidé la distribution d'un dividende de 5 pour 100, soit 12,50 fr par action, à prélever sur la réserve supplémentaire : un acompte de 7,50 fr par action ayant été mis en paiement le 22 août dernier, le solde de 5 fr par titre est payable à raison de 4,50 fr net par action nominative et 3,622 fr net par action au porteur, depuis le 27 décembre 1921.

L'assemblée a ratifié la nomination de MM. M. Devies et H. Maréchal comme administrateurs, renouvelé les mandats de MM. H. Bousquet, L. Odier et D. Agache, administrateurs sortants, et réélu M. E. de Lauris, censeur.

MM. P. Bergaud et E. Frachon ont été nommés commissaires des comptes pour l'exercice 1921-1922.

Société norvégienne de l'Azote et de Forces hydroélectriques.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE ET EXTRAORDINAIRE DU 26 NOVEMBRE 1921.

Durant l'exercice 1920-1921, la crue des cours d'eau de Telemarken a été pendant l'été 1920 tout à fait suffisante, pour permettre le remplissage des bassins de régularisation alimentant les usines hydroélectriques. Les pluies ont, cependant, été au-dessous de la normale au cours de l'automne et de l'hiver.

En ce qui concerne les usines hydroélectriques de Rjukan, les conditions de débit ont permis une consommation d'eau un peu au-dessus de la moyenne, tandis que celles des usines génératrices de Notodden ont été moins favorables.

L'exploitation des usines génératrices a été satisfaisante jusqu'à leur arrêt fin mai, à cause de la grève générale norvégienne qui n'était pas encore terminée à l'expiration de l'exercice, le 30 juin.

Dans la centrale de Vemork, on a terminé la recharge des roues Pelton sur 5 turbines.

La proportion des salaires dans les dépenses d'exploitation a dépassé celle de tous les exercices précédents par suite du verdict prononcé par le tribunal arbitral nommé par le gouvernement.

La vente des produits s'est poursuivie dans des conditions normales jusqu'à fin décembre 1920. Cependant, à partir de janvier 1921, une dépression générale sur le marché des produits azotés amena une diminution dans la vente d'une assez considérable quantité des engrais azotés.

Les prix des matières nécessaires à l'industrie de la société ont suivi l'année écoulée, la tendance à la baisse générale dans le dernier semestre ; elle n'aura de répercussion, vu les stocks existants, que sur l'exploitation de l'exercice en cours.

En ce qui concerne le matériel d'exploitation, la statistique pour l'exercice écoulé indique une courbe descendante continue, manifestant toutefois une tendance à la hausse en fin d'exercice.

L'exploitation du chemin de fer électrique Rjukan-Mael (Rollag) a eu lieu d'une manière normale et satisfaisante. Il en est de même en ce qui concerne le service de transport sur le Tinnso.

Suivant contrat conclu précédemment, la Compagnie des Chemins de fer de l'Etat « Bratsbergbanen » s'est chargée, depuis le commencement de l'exercice, de l'exploitation de la ligne Tinnoset-Notodden et administre ainsi maintenant tout le parcours Tinnoset-Borgestad.

Le transport de tous les produits s'est effectué, sous ce régime qui sera définitif, de manière tout à fait satisfaisante.

Les travaux de constructions nouvelles ont été réduits au minimum dans les établissements. Aux chantiers d'Aardal, appartenant à la société filiale, la Société des Chutes de Tyin, on a terminé au cours de l'exercice, la construction de la route allant de Nedre Aardal jusqu'à Tyin. La centrale de force provisoire de 1000 ch environ, a également été achevée et mise en marche.

Le capital d'exploitation de la société est devenu insuffisant par suite de l'augmentation considérable des salaires, de la hausse des changes, et aussi à cause de la transformation de plus en plus complète de la production, qui ne consiste plus, pour la majeure partie, qu'en nitrate de Norvège ; elle a entrepris au cours de l'exercice des négociations avec des banques norvégiennes et étrangères, pour la conclusion d'un emprunt à long terme, destiné à augmenter le capital d'exploitation. Comme suite à ces pourparlers poursuivis de concert avec la Société de Rjukanfos, elle a conclu cet été un emprunt obligataire de 50 millions de couronnes norvégiennes. L'emprunt est exempt d'amortissement pendant les cinq premières années, et ensuite remboursables en 25 annuités égales.

Les sociétés se sont réservé le droit d'augmenter, à partir

de 1932, les amortissements, ou de procéder au remboursement total du montant restant en circulation. Le taux d'intérêt est de 7 pour 100 et le cours d'émission de 98 pour 100. L'emprunt figurera seulement dans les comptes de l'exercice 1921-1922.

Les recettes des usines de Svalgfos Notodden se sont élevées à 19418872,12 kr.

Les dépenses d'exploitation ont été de 12397233,45 kr.

Soit un bénéfice de 7021638,97 kr. auxquels s'ajoutent les intérêts reçus sur avances aux sociétés filiales et divers autres intérêts touchés sur les créances, 1896907,34 kr; le revenu du portefeuille, 717761,90 et autres revenus divers, 8826,12 kr, soit un total de 9645133,63 kr.

Il faut en déduire : les frais généraux s'élevant à 6829194,83 kr, y compris les impôts français pour la circulation des titres; les intérêts payés sur divers comptes, 2985944,14 kr; les allocations fixes aux Conseils d'administration et de surveillance, 129000 kr; d'où il résulte un déficit de 299005,34 kr qui, ajouté au montant des amortissements ordinaires à effectuer, soit 1009420,80 kr, fait ressortir une insuffisance totale de 1308426,14 kr qui est reporté à nouveau.

Les dotations du fonds d'amortissement ont été effectuées dans les mêmes proportions qu'antérieurement, conformément au programme établi à cet effet.

Les mêmes principes ont été appliqués par les autres sociétés.

Voici le tableau résumant ces divers comptes :

| Noms des Sociétés | Dotation des fonds d'amortissement | Report à nouveau |
|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Société norvégienne de l'Azote.... | 1 009 420,80 | Déficit |
| Société de Svalgfos..... | 113 577,70 | 17 222,63 |
| Société norvégienne de Transports.... | 204 491,36 | 104 798,90 |
| Société de Rjukanfos..... | 4 449 447,03 | 99 764,14 |
| | <u>5 776 936,98</u> | <u>221 785,67</u> |

Le Conseil d'administration propose de prélever cette année, du fonds à disposition, le montant nécessaire à la distribution d'un dividende de 15 pour 100.

Le total du dividende représente 8645940 kr.

Le fonds pour la régularisation de dividendes, employé en entier, s'élève à 8000000 kr.

Le solde, 645940 kr, sera fourni par le fonds à disposition.

Après ce prélèvement, celui-ci sera de 30738587,01 kr.

Aucun tantième ne pourra être distribué cette année aux membres du Conseil d'administration.

L'assemblée fixe, comme suit, le montant des dividendes à répartir pour ledit exercice :

Actions de préférence : (n° 1 à 25002) 15 pour 100 contre coupon n° 14, soit 27 kr.

Actions ordinaires : (n° 1 à 295218) 15 pour 100 contre coupon n° 13, soit 27 kr.

La date de distribution sera fixée ultérieurement.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

| Actif. | kr |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Immeubles à Kristiania..... | 409 431,14 |
| Chutes de Svalgfos, terrains, droits divers et autres propriétés foncières..... | 4 768 097,94 |
| Usine hydroélectriques et électrochimiques de Svalgfos-Notodden, bâtiments de magasin de Mossesund, fabriques nitratères et constructions hydrauliques en France, maisons des employés, baraquements ouvriers et annexes.. | 28 070 181,83 |
| Travaux de régularisation..... | 1 769 666,82 |
| Actions de la société de Svalgfos..... | 811 000 » |
| — — de Rjukanfos..... | 66 309 000 » |
| — — norvégienne de Transports.... | 4 056 900 » |
| — — des Chutes de Tyin..... | 10 537 000 » |
| Diverses actions..... | 6 535 081,96 |
| — obligations..... | 198 389,06 |
| Brevets..... | 1 » |
| Société de Rjukanfos..... | 3 510 831,91 |
| — de Svalgfos..... | 1 537 461,63 |
| — norvégienne de Transports..... | 515 517,60 |
| Clients et débiteurs divers..... | 7 507 003,37 |
| Mobilier..... | 26 » |
| Matériaux..... | 2 561 928,06 |
| Matières premières en magasin..... | 1 917 822,89 |
| Produits fabriqués..... | 16 280 345,86 |
| Produits en cours de fabrication..... | 32 340 » |
| Espèces en banques..... | 951 083,25 |
| Caisse..... | 85 241,09 |
| | <u>158 454 355 »</u> |

| Passif. | kr |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Actions : | |
| Actions de préférence n° 1 à 25002..... | 4 500 360 » |
| — ordinaire n° 1 à 295218..... | 53 139 240 » |
| Dettes hypothécaires..... | 148 407,26 |
| Dû à banques..... | 19 046 818,30 |
| Créditeurs divers..... | 23 697 244,77 |
| Capital des rentes foncières à servir..... | 247 392 » |
| Fonds de réserve..... | 5 763 960 » |
| Fonds de régularisation de dividendes..... | 8 000 000 » |
| Fonds à disposition..... | 15 000 000 » |
| Prélèvement pour la construction d'un nouvel immeuble administratif à Kristiania..... | 4 000 000 » |
| Fonds d'amortissement..... | 9 834 831,80 |
| Report à nouveau de l'exercice précédent..... | 16 384 527,01 |
| | <u>159 762 781,14</u> |
| Solde du compte de profits et pertes, déficit, ... | 1 308 426,14 |
| | <u>158 454 355 »</u> |

SECTION DE LÉGISLATION

Conseils pratiques pour la rédaction du cahier des charges des distributions communales

Cahier des charges-type du décret du 28 juin 1921, article 27.

Notre collaborateur Paul Bougault commence aujourd'hui une série d'articles sur la rédaction du cahier des charges ; le caractère de nouveauté que certaines formules doivent revêtir depuis la modification récente des cahiers-types n'est pas le seul motif qui a inspiré ces études ; ainsi que le démontrerait surabondamment la lettre que vise l'auteur, et à laquelle répond l'article que l'on va lire, même avant le changement intervenu en juin 1921, bien des rédacteurs étaient embarrassés sur la portée des dispositions les moins importantes en apparence.

Un lecteur nous adresse une question qui ne manque pas d'originalité : « quand on rédige, nous dit-il, un cahier des charges pour une distribution communale d'énergie, éclairage ou force motrice, le chapitre intitulé : « *Clauses diverses* » étant le dernier et le plus anodin de tous (puisque les blancs à remplir sont peu nombreux), on arrive généralement, à partir de l'article 27, à se désintéresser du texte ou à ne lui accorder qu'une attention insuffisante ; ne serait-il pas nécessaire cependant de bien savoir à quoi l'on s'engage comme concessionnaire sur la question des redevances (art. 27), des pénalités (art. 30), du cautionnement (art. 31) et de l'enregistrement (art. 36) ? »

En première réponse, aujourd'hui, nous donnerons quelques indications sur les *redevances* d'occupations (redevances contractuelles) d'autant plus volontiers qu'il y a lieu d'appliquer sur ce point une disposition très récente, résultant du décret du 17 mai 1921, augmentant le tarif du 17 octobre 1907 qui avait été lui-même déjà modifié par le décret du 7 septembre 1912.

I. — L'article 27 du cahier-type ⁽¹⁾, intitulé en marge « *redevances* » est ainsi conçu :

Les redevances pour l'occupation du domaine public communal sont fixées à.....

Le tarif des redevances dues à la commune ne pourra pas être révisé pendant la durée de la concession.

Nous n'avons pas besoin de rappeler que cette partie imprimée en italique est facultative ; les contractants auront donc à se mettre d'accord sur la ques-

tion de savoir s'ils l'inséreront ou le supprimeront.

Une note assez longue sous l'article 27 nous explique ce qui suit :

1° L'article 27 ne peut être relatif qu'aux redevances afférentes aux occupations du *domaine public communal*, car celles dues pour le domaine public départemental ou national, continuent à être réglées par le décret du 17 octobre 1907 et les décrets subséquents. Comme tout ce qui est relatif au domaine public, autre que celui de la commune, échappe à la compétence du conseil municipal, la restriction au domaine public communal s'explique d'elle-même. En conséquence, l'État aura toujours la pleine application des tarifs légaux pour les occupations afférentes à son domaine ⁽¹⁾.

Et l'on remarquera encore que l'article 27 ne vise que le domaine « public » de la commune, par opposition au domaine « privé » ⁽²⁾. Personne n'ignore que le

⁽¹⁾ Sur l'application des principes juridiques en matière d'occupation de la grande voirie, et notamment sur la question de la procédure et de la compétence, voir mon livre *Manuel des autorisations de voirie*, édition de 1920 (nos 55 et suivants).

⁽²⁾ Si dans la convention à laquelle le cahier des charges est annexé, il n'a rien été prévu comme redevance pour des biens dépendant du domaine privé de la commune, il faut conclure de ce silence que l'autorisation de placer les poteaux et les fils sur lesdits biens devra être donnée gratuitement par la commune. D'abord elle devra être donnée : car il résulte des principes mêmes de la concession que l'autorité concédante ne saurait gêner son concessionnaire par un refus, alors qu'elle lui impose des obligations par son contrat. Cette question ne devrait même pas se présenter. Nous ne la citons que parce que le Conseil d'État a dû la juger une fois (arrêt du 17 mai 1918. Voir communication de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques, n° 324, année 1919), dans l'affaire Tricoche contre la ville de Bordeaux. La municipalité bordelaise, pour légitimer son refus de permission d'embranchement à son concessionnaire, plaidait que rien ne l'obligeait à autoriser sur l'Ecole des Beaux-Arts et dans un marché municipal des occupations pour lesquelles elle n'avait eu en vue que la « voirie » publique. Le

⁽¹⁾ Cahier des charges-type pour la concession d'une distribution publique d'énergie électrique par une commune ou un syndicat de communes : *R. G. E.*, 27 août 1921, t. X, p. 269-276. Pour l'article 27, voir page 275. Voir aussi les articles 27 des deux autres cahiers des charges-type publiés dans les numéros des 3 et 10 septembre 1921, p. 305-311 et p. 339-344.

patrimoine communal se divise en deux parties : le domaine « public » qui comprend toutes les voies vicinales et urbaines, les places et tous les accessoires de ces voies qui s'y incorporent naturellement, suivant la définition classique (voir Dalloz, Répertoire pratique, V^e Commune n° 3232). Le domaine « privé » embrasse au contraire, les biens patrimoniaux, c'est-à-dire les immeubles qui sont exclusivement destinés à l'usage ou au profit de la commune considérée comme personne morale. Parmi ces biens, les uns sont productifs de revenus (maisons, fermes, prés, terres cultivées, usines, moulins, carrières, établissements thermaux); les autres sont affectés à un service public (halles ou marchés, abattoirs, hospices ou hôpitaux).

2° Tout ce qui est relatif aux redevances du domaine public communal est également tarifé : un décret du 17 octobre 1907 a établi le premier tarif par mètre de fil aérien ou souterrain, par poteau, pylône et mètre carré d'occupation par des transformateurs ou autres ouvrages ; l'article 3 de ce décret permet à la commune concédante, soit de réduire le tarif, pour tenir compte de l'avantage qu'elle s'est fait attribuer, dans l'article 12, sous forme de tarif de faveur, soit de le transformer en un pourcentage des recettes et l'article indique le maximum des pourcentages, d'après la distribution (éclairage ou force motrice).

Aussi, la note de l'article 27 expose-t-elle tout d'abord aux contractants qu'ils doivent, avant tout, prendre une décision : veulent-ils laisser aller les choses, conformément au tarif ? La rédaction est alors bien simple, puisqu'elle affectera la forme suivante : les redevances pour l'occupation du domaine public communal sont fixées conformément aux articles 1 et 2 du décret du 17 octobre 1907 ; comme ce décret a été remplacé par celui du 17 mai 1921, les redevances se trouveront automatiquement mises à jour d'après les données les plus récentes (1). Les contractants veulent-

Conseil d'Etat lui a répondu : « La Ville de Bordeaux ne peut se prévaloir de ses droits de propriétaire pour se dispenser de remplir les obligations qui lui incombent vis-à-vis du sieur Tricoche en vertu du contrat de concession » ; et « qu'elle ne pouvait, sans méconnaître ses obligations, mettre obstacle à l'exercice des droits du concessionnaire d'une distribution d'énergie, en s'opposant à l'installation des conducteurs d'énergie dans les bâtiments municipaux, affectés à un service public ». Et le Conseil a condamné la ville à des dommages-intérêts. D'autre part, puisque le cahier des charges ne prévoit des redevances que pour le domaine « public », faute d'une mention expresse les occupations du domaine « privé » sont gratuites.

(1) C'est par une méthode déplorable que la note du cahier des charges sous l'article 27 a visé les articles 1^{er} et 2 du décret du 17 octobre 1907 ; il aurait été infiniment plus simple de se rapporter aux seules dispositions du décret du 7 septembre 1912 qui a modifié le décret du 17 octobre 1907, non seulement dans les tarifs, mais encore par la suppression complète de l'article 2 et son remplacement par un tout autre article. En effet, le décret du 17 octobre 1907, avait créé un tarif en deux parties : tarif simple pour les ouvrages de transport alimentant une distribution concédée (art. 1^{er} dudit décret) ; tarif double pour les autres ouvrages, c'est-à-dire ceux n'alimentant pas une distribution concédée (art. 2 dudit décret) ; cette dernière disposition avait créé

ils, au contraire, abaisser le taux des redevances ? Ils auront alors à exprimer le rabais consenti par la commune sur le tarif, ou plus exactement à expliciter le chiffre de la redevance ; veulent-ils, enfin, que les redevances soient calculées, non pas d'après l'importance des occupations, la longueur des lignes, le nombre de poteaux ou pylônes, mais d'après les recettes, ils devront indiquer le pourcentage à verser par le concessionnaire ; car, nous le répétons à dessein, l'article 27 du cahier des charges ne doit pas être rédigé sans référence au décret du 17 octobre 1907 qui spécifie bien le pouvoir des communes d'abaisser, comme elles l'entendent, les chiffres du tarif qui sont seulement des maxima.

3° La phrase en italique n'interviendra que quand la décision aura été prise ; elle a pour but de bloquer pendant toute la durée de la concession, si l'on est d'accord pour le faire, le chiffre des redevances, tel qu'il a été défini : avantage intéressant pour les concessionnaires qui, au lieu du tarif maximum auront obtenu une diminution favorable. S'il n'était rien dit en effet, ou plus exactement si l'on se rapportait strictement au maximum du tarif, il y aurait à redouter une révision, à partir du 1^{er} janvier 1930. En effet, le décret du 17 octobre 1907 prévoyait la première révision à partir de 1913, et ensuite une absence de révision pendant trente années. Le décret du 17 mai 1921 (1), après avoir modifié les tarifs, ne les a stabilisés que jusqu'en 1930, date à laquelle il y aura une révision. Il n'est rien spécifié pour la suite.

II. — Quant aux décisions à prendre, nous n'hésitons pas à espérer qu'à l'exemple déjà ancien de beaucoup de communes, les futurs contractants s'entendront pour supprimer pratiquement cet article 27 ou ne s'en servir que pour y coucher une redevance invariablement égale à 1 fr pour toute la durée de la concession. Il semble même que le décret du 17 octobre 1907 fasse comprendre par l'aspect qu'il a su donner à son texte, combien il serait plus vrai pour la commune de prendre son avantage dans le prix de faveur qui lui est offert pour l'éclairage public, et quelle complication elle s'éviterait. Le décret du 17 octobre 1907 s'exprime ainsi : « les redevances prévues pour le domaine public communal peuvent être réduites pour tenir compte des avantages particuliers réservés à la commune par l'acte de concession ». La lecture du décret du 17 mai 1921 qui contient la même remarque tout en adoptant des tarifs nouveaux, nous confirmerait encore dans cette idée. Sans doute, le tarif maximum établi pour Paris, par l'article premier, donne un chiffre intéressant, 0,50 fr par mètre de fil, 50 fr par

une difficulté d'application considérable et, en septembre 1912, elle a été supprimée et remplacée par un article 2 qui ne vise même pas une question de tarif, mais stipule simplement que les redevances sont perçues chaque année en appliquant le tarif pour une année entière aux ouvrages existant le 31 décembre de l'année précédente.

(1) R. G. E., 2 juillet 1921, t. X, p. 36-37.

poteau, 100 fr par mètre carré pour les postes de transformateur ; mais, dans une commune rurale n'excédant pas 5 000 habitants, le tarif tombe à 0,01 fr par mètre de fil, 0,50 fr par pylône ou poteau, 1 fr par mètre carré de terrain destiné à recevoir un transformateur ; il y a lieu de penser que le trésor municipal ne s'enrichira pas en proportion des écritures nécessaires.

III. — Mais enfin, si les exigences de la commune sont telles que le concessionnaire doive se soumettre, nous indiquons les différents modes de perception que l'on peut adopter d'après le décret du 17 mai 1921, savoir :

a) *Prendre le tarif officiel comme base*, soit qu'on le laisse subsister, avec une simple référence à son maximum, soit qu'on l'abaisse.

b) *Convertir les redevances d'occupation en un pourcentage des recettes*.

c) *En dehors de Paris et si la vente ne se fait qu'en basse tension, percevoir une somme*, d'après le nombre des kilowatts-heure vendus, sans s'occuper de la recette produite par la vente.

Quelques explications sont nécessaires sur les deux derniers paragraphes (b) et (c).

POURCENTAGE DES RECETTES. — Le rédacteur du décret du 17 mai 1921, comme celui du décret précédent, a admis que le tarif de l'éclairage étant généralement plus élevé et correspondant à un usage qui est de luxe, si on le compare à la force motrice qui est une nécessité, le pourcentage des recettes-lumière devait être plus élevé que celui des recettes de force ; les chiffres ont augmenté dans chaque catégorie, mais l'écart entre les catégories est resté le même ; ce qui était, suivant le nombre des habitants : 4, 3, 2, 1 pour 100 pour la lumière est devenu 8, 7, 6, 5 pour 100 ; et nous voyons les tarifs de 2, 1, 50, 1, 0, 50 pour 100 pour la force motrice passer à : 4, 3, 2, 1, 50 pour cent d'une manière générale, le tarif est au moins doublé.

Un élément nouveau a été créé de toutes pièces dans le récent décret : c'est le pourcentage spécial des recettes obtenues par la vente à haute tension, car la vente de force motrice est faite principalement à la tension d'utilisation ; de plus en plus, la livraison chez le client, au moyen d'un branchement pris sur le réseau primaire avec un transformateur spécial s'il y a lieu, tend à se répandre ; la recette est généralement faite sur un tarif amoindri ; le pourcentage sera aussi moins élevé : 2, 1, 50, 0, 50 pour 100. Nous ne parlons pas de Paris qui a un tarif remarquable en ce qu'il ne comprend qu'un chiffre pour les trois éléments : lumière, force, ou même haute tension : 15 pour 100.

Le décret du 17 mai 1921, bien qu'intervenu avant la modification faite au cahier des charges-type, par le décret du 28 juin 1921, s'est inspiré du conseil déjà donné aux distributeurs d'énergie par les circulaires de 1919 et de 1920 d'adopter un tarif trinôme (prix de base de la puissance installée, prix de base de l'unité d'énergie consommée et supplément donné par l'index économique).

On peut aussi n'adopter dans les articles 11 et 12 du

cahier des charges, qu'un prix de base pour le kilowatt-heure consommé, sans parler de la puissance installée, et ajouter seulement l'index économique ; en tout cas, le pourcentage des recettes prévu par le récent décret n'envisage d'un côté que les recettes provenant des prix de base additionnés l'un avec l'autre (puissance installée et énergie consommée) et de l'autre les recettes provenant de l'index économique ; le premier pourcentage correspond aux chiffres que nous avons donnés ; le second est la moitié du premier.

On pourrait se demander comment la redevance en proportion des recettes pourra être calculée ; il n'y a pas de doute que, si le calcul est un peu compliqué par suite de la diversité des sources de recettes, l'établissement du compte est possible puisque, en vertu de son cahier des charges (article 28), le concessionnaire est tenu de remettre chaque année au maire et à l'ingénieur en chef du contrôle l'état des recettes réalisées dans la commune pendant l'année précédente ; la commune a un droit de contrôle au moyen de ses agents dûment accrédités à cet effet ; on remarquera aussi dans la note de l'article 28 que la communication des recettes au maire et à l'ingénieur du contrôle n'est obligatoire que si le cahier des charges établit les redevances d'après les recettes (1).

REDEVANCE D'APRÈS LE NOMBRE DES KILOWATTS-HEURE VENDUS.

— Mais ce qui serait encore bien plus simple, ce serait de n'avoir pas à tenir compte de la recette effectuée et de se contenter du nombre de kilowatts-heure vendus, en frappant le kilowatt-heure livré à la clientèle d'une taxe variant d'après l'importance de la population ; les chiffres choisis pour constituer le tarif ont poussé les rédacteurs du décret à ne pas les appliquer à la haute tension. C'est d'ailleurs une innovation que nous tenons pour très heureuse comme toutes les simplifications. Mais il est impossible de donner une idée de ce que ces tarifs peuvent représenter en sommes, tant que l'on ignore le prix auquel sera vendu le kilowatt-heure.

Les usines hydrauliques devant se multiplier — au moins d'après les désirs de tous — et comme il convient d'encourager leur connexion avec les distributions pré-existantes, le maximum de la redevance déterminée par le nombre de kilowatts-heure vendus sera diminué de moitié pour les concessions reliées avec les centres de production hydraulique. C'est simplement une corrélation avec d'autres dispositions du cahier des charges, savoir, l'article 8 (dernier paragraphe) qui permet à la commune concédante d'imposer au concessionnaire l'usage d'une énergie sur laquelle, en tant que commune, elle a un droit assuré (voir le cahier des charges des chutes d'eau dans mon livre « Législation nouvelle des

(1) Il résulte d'un arrêt du Conseil d'Etat du 15 février 1918 reproduit dans la « Revue des Concessions », année 1918, p. 96, que si le cahier des charges donne au maire le droit de vérifier les livres, cette stipulation doit être comprise comme lui permettant, sans l'obliger à agir personnellement, de déléguer ses pouvoirs de vérification à un mandataire de son choix, et le concessionnaire n'aura pas le droit de se plaindre du procédé, il n'a pas d'observation à faire sur la personne du délégué désigné.

Chutes d'eau », pages 212 et suivantes); et l'article 11 qui prévoit la modification des tarifs de base si le prix de revient pour le concessionnaire est diminué par cette fourniture d'origine hydraulique.

IV. — Nous ne pouvons quitter ce sujet sans prévoir que des difficultés sont susceptibles de naître entre le concessionnaire et le concédant, comme cela arrive toutes les fois que s'agitent des questions d'argent, et nous devons étudier par quelle voie judiciaire une réclamation de la commune pourrait se faire jour.

Les deux grandes collectivités administratives jouissant de la personnalité morale, l'Etat et la commune, ont un moyen rapide pour se constituer un titre exécutoire quand elles estiment avoir une créance contre un tiers. La commune, en vertu de l'article 154 de la loi du 5 avril 1884, assure ses recettes municipales pour lesquelles « les lois et règlements n'ont pas prescrit un mode spécial de recouvrement, au moyen d'états dressés par le maire ». Ces états sont exécutoires après qu'ils ont été visés par le préfet ou le sous-préfet; ils peuvent donc faire la base d'un commandement sans que la demanderesse soit obligée, comme les particuliers, de solliciter du tribunal un jugement qui est le titre authentique par excellence. Si le tiers estime qu'il ne doit pas la somme réclamée, il doit faire opposition, qui est jugée, dit le deuxième alinéa de l'article précité, comme en affaire sommaire quand la matière est de la compétence des tribunaux ordinaires. L'Etat jouit d'un privilège semblable qui lui est assuré à peu près dans les mêmes termes par l'article 54 de la loi du 13 avril 1898.

Mais ce qui est compliqué c'est de savoir quel est le tribunal compétent quand la commune réclame le paiement d'une taxe contractuellement imposée au concessionnaire.

Nous n'hésitons pas à dire que l'opposition au commandement, c'est-à-dire l'instance en validité d'opposition doit être portée au conseil de préfecture; on ne saurait méconnaître que si la commune réclame une somme, elle ne saurait être en vertu d'un tarif assimilable aux contributions indirectes (comme quand elle réclame une taxe de contrôle qui n'a rien de contractuel et se trouve en principe dans une disposition administrative basée sur une loi). Dans notre hypothèse, la commune réclame en s'appuyant sur son contrat; or, le contrat administratif de travaux publics est essentiellement justiciable du conseil de préfecture; c'est un principe formel; comme le fait remarquer le « Dictionnaire de Dalloz » (v. Contrainte, n° 27), les contraintes décernées pour le recouvrement des créances des départements, communes, établissements publics (ces derniers faisant dresser leurs états par le maire sur la proposition de la commission administrative) ont une force exécutoire éphémère qui dure jusqu'à l'opposition; et pour statuer sur le mérite de celle-ci, on n'aurait pas pu enlever le fond même de la cause aux magistrats compétents pour la juger: « ainsi l'opposition doit être portée devant les tribunaux ordinaires ou

administratifs suivant la nature de la créance »; même affirmation dans le « Répertoire pratique de Dalloz » (v. Commune n° 3166). Enfin la jurisprudence est dans ce sens: l'article 154 de la loi du 5 avril 1884 ne s'applique qu'aux recouvrements pour lesquels aucun mode spécial n'est prescrit. En conséquence, le Tribunal de la Seine par jugement du 8 avril 1921 a décidé que si le préfet de la Seine fait signifier une contrainte suivie de commandement et de saisie pour avoir paiement de droits de viabilité (qui sont à Paris assimilés à des contributions directes dont le contentieux appartient au conseil de préfecture), c'est devant la juridiction administrative que l'instance en validité d'opposition doit être portée (affaire Tourseiller contre Ville de Paris, *Gazette des Tribunaux* du 15 avril 1921.)

Nous insistons sur cette vérité, malgré l'apparente inutilité de le faire, pour empêcher une confusion entre deux hypothèses bien voisines l'une de l'autre. Si la discussion s'engage entre concédant et concessionnaire sur une taxe contractuellement prévue dans le cahier des charges, la juridiction administrative est compétente.

Mais si, au contraire, la taxe est réclamée en dehors de tout contrat, par exemple pour un droit de contrôle sur lequel le cahier des charges, est muet, ou si l'Etat, qui n'est même pas partie à ce cahier, réclame un droit de grande voirie, c'est la juridiction judiciaire qui reprend tout son empire; le tribunal de droit commun doit alors juger comme en matière de droits assimilés aux contributions indirectes, c'est-à-dire sur mémoires écrits, réciproquement signifiés entre les parties litigantes. C'est donc le juge de paix et non le préfet qui doit viser la contrainte décernée par le maire: car ce n'est plus l'article 154 de la loi du 5 avril 1884 qui est applicable, mais bien l'article 44 du décret du 1^{er} germinal an III. (Voir mon livre: Manuel des autorisations de voirie, p. 261.)

En résumé, la procédure devant le tribunal judiciaire écrite et non orale, se poursuivant sur mémoires échangés, rapport d'un juge et conclusions du ministère public, n'est obligatoire que dans la discussion d'un tarif et non pas d'un contrat. La Cour de Cassation (Chambre civile) par arrêt en date du 27 avril 1914 (1) avait déjà admis que si l'on plaide sur une taxe de grande voirie réclamée par le préfet en vertu d'un engagement souscrit par l'occupant en matière de canalisation d'eau, c'est bien le tribunal civil qui est compétent, parce qu'il n'y a pas contrat de travaux publics; mais la procédure doit être orale et non écrite; à plus forte raison déciderait-elle que la juridiction administrative est seule compétente pour connaître d'une taxe stipulée dans un cahier des charges rédigé en matière de contrat de travail public.

Paul BOUGAULT,

Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

(1) Cet arrêt extrêmement intéressant est rapporté dans les communications du Comité contentieux de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques, année 1915. N° 268, p. 75.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité
réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 1.

14 JANVIER 1922.

Chronique. — Fondation Montefiore : Prix décernés. — Bibliographie : Formulaire des centraux, par J. BRAIVE; Les métallurgies électrolytiques et leurs applications, par Albert LEVASSEUR, p. 41-42.

Section scientifique et technique. — Chute de tension dans les lignes triphasées basse tension (système en étoile avec fil neutre), par J. GODIN, p. 43. — Revues, analyses et informations : Les prix de l'Académie des Sciences, p. 48; Congrès des physiciens allemands, Léna, septembre 1921, p. 50.

Section industrielle. — Les moteurs synchrones autodémarreurs, par M. LECOCQ, p. 51. — Note sur les usines hydroélectriques de la poudrerie du Pont-de-Buis, par J. REYVAL, p. 55. — Revues, analyses et informations : Deux nouveaux dispositifs à résistance négative employés en radiotélégraphie, p. 61; Revue des méthodes employées pour la recherche des isolateurs défectueux sur une ligne en service, p. 63; L'exportation de l'énergie électrique, p. 64.

Section économique et financière. — Les grands travaux : La percée des Vosges, le Congrès de Colmar, par FERNAND-JACQ, p. 65. — Assemblées générales : Compagnie lorraine de Charbons, Lampes et Appareillages électriques, p. 68.

Section de législation. — Les méfaits du règlement transactionnel, par FERNAND-JACQ, p. 69. — Législation, jurisprudence, réglementation : Sur l'application de la loi sur les impôts cédulaires suivant la nature des revenus, p. 71; Sur l'application de l'impôt général sur le revenu, p. 71; Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux aux sociétés en commandite, p. 71; Sur l'assujettissement au droit de timbre des accusés de réception de chèques, p. 72; Sur la réglementation de la radiotélégraphie à bord des navires de commerce, p. 72; Décret apportant une dérogation au décret du 9 septembre 1905 relatif aux caisses de secours contre le chômage involontaire, p. 72.

Fondation Montefiore : Prix décernés. — Dans le numéro du 24 juillet 1920, t. VII, page 97, nous rappelions l'origine de cette fondation : après avoir créé l'Institut qui porte son nom et lui avoir assuré les ressources financières nécessaires à son fonctionnement, le riche philanthrope belge George Montefiore résolut de confier à cet Institut l'honneur de décerner un prix triennal dont le montant est constitué par les intérêts accumulés pendant trois ans d'un capital de 150 000 fr placé en rente 3 pour 100 belge,

Ce prix doit être « décerné, à la suite d'un concours international, au meilleur travail original sur l'avancement scientifique et sur les progrès dans les applications techniques de l'électricité dans tous les domaines, à l'exclusion des ouvrages de vulgarisation ou simples compilations ». Le prix peut être exceptionnellement divisé.

Le prix Montefiore fut décerné pour la première fois en 1911. Sur les 20 000 fr formant alors le montant des arrérages, 13 000 fr furent partagés entre les quatre lauréats suivants : MM. R. Rudenberg, de Berlin; Paul Drumaux, de Bruxelles; Marius Latour, de Paris; Bela Gati, de Budapest.

La réunion du jury pour le concours de 1914 devait avoir lieu en août 1914; les circonstances la retardèrent jusqu'en juin 1920. Dans cette réunion, il fut décidé que 20 000 fr seraient partagés entre MM. Block, Mauduit, Girault, Courtroy et Scoumanne. Il fut, en outre, convenu que le concours qui devait avoir lieu en 1917

serait reporté à 1921, les travaux présentés à ce concours devant être déposés avant le 30 avril 1921, ainsi qu'il était rappelé dans le numéro de cette Revue du 12 mars 1921, page 346.

Le jury chargé d'examiner ces travaux s'est réuni en octobre dernier. Nous donnons ci-dessous le procès-verbal de cette réunion, présidée par M. Omer de Bast. On y verra que les nouveaux lauréats sont : M. A. Blondel, MM. Ledoux-Lebard et Dauvillier, MM. J.-B. Whitehead et T. Isshiki.

CONCOURS 1917 (1921). — Le premier soin de la présidence fut de pourvoir, en temps utile, chacun des jurés d'une collection complète des mémoires présentés, afin qu'il pût les examiner préalablement à la réunion du jury. Cette façon de procéder a permis de réduire considérablement le travail à faire en commun.

D'autre part, pour qu'aucun mémoire n'échappât à l'examen approfondi d'au moins un spécialiste, le président désigna, pour chaque travail, un rapporteur chargé d'exposer les mérites et d'en faire la critique au sein du jury, qui était composé de : MM. Boucherot, ingénieur, professeur à l'École de Physique et de Chimie de Paris; Dawson, ingénieur-conseil à Londres; Feldmann, professeur à la Technische Hoogeschool de Delft; Landry, professeur à l'Université de Lausanne; Semenza, ingénieur à Milan; De Bast, professeur à l'Université de Liège; Drumaux, professeur à l'Université de Gand; Gillon, professeur à l'Université de Louvain; Henrard, ingénieur à Liège; Piérard, professeur à l'Université de Bruxelles.

Deux séances plénières eurent lieu à l'Hôtel de l'Associa-

tion, à Liège, l'une le 8 octobre à 15 heures, l'autre le 9 octobre à 10 heures, sous la présidence de M. le professeur Omer de Bast, directeur de l'Institut électrotechnique Montefiore.

Huit membre du jury y assistaient.

M. Dawson, député, retenu à Londres par les travaux parlementaires commencés plus tôt que d'habitude, et M. Landry, empêché par une indisposition subite se sont fait excuser. Ils avaient donné, par écrit, leur avis sur les mémoires à examiner.

Après lecture, à titre documentaire, du compte rendu des opérations du jury du concours de 1914 (1920), on passa à l'audition des rapports sur les mémoires présentés, au nombre de treize, et à la discussion de leurs conclusions; puis le président soumit à la délibération la question préalable suivante :

« Un des mémoires produits mérite-t-il le prix unique de 20 000 fr. »

A l'exception d'un des membres, qui estime que la division du prix est peut-être de nature à diminuer l'intérêt du concours, tous les membres présents se prononcèrent pour la négative.

Le règlement de la fondation autorisant la division du prix, le jury eut ensuite à examiner la question d'opportunité de cette division.

Les membres de chacune des deux sections, étrangers et nationaux votant séparément, décidèrent à l'unanimité de diviser le prix et de récompenser par des prix partiels certains travaux d'un mérite incontestable.

Après un long débat, le jury conclut à l'unanimité, qu'il y a lieu :

1° de primer les mémoires de :

M. Blondel, sur le « Calcul électrique des lignes à haute tension au moyen d'abaques universels » ;

MM. R. Ledoux-Lebard et A. Dauvillier, sur la « Physique des rayons X » ;

MM. J.-B. Withead et T. Isshiki, sur « The Corona Voltmeter and the Electric Strength of Air ».

2° De fixer le montant de chacun des prix à 5 000 fr.

3° De faire paraître in extenso, au « Bulletin de l'Association », une traduction française du mémoire de MM. Withead et Isshiki, ce travail n'ayant pas encore été publié en français.

4 D'autoriser la publication, dans ce Bulletin, d'extraits de mémoires non primés, à la condition que l'Association en informe les auteurs et leur demande s'ils ne désirent pas que les extraits leur soient préalablement soumis et que mention soit faite de la présentation de leurs mémoires au concours de la Fondation George Montefiore.

Au cours de la discussion, il a été formulé, sur la proposition de plusieurs membres, le vœu :

1° Que la Fondation attire sur le prix Montefiore l'attention de certains instituts américains qui entreprennent des travaux d'électrotechnique très importants. Une propagande faite de façon judicieuse en Amérique pourrait avoir pour conséquence la présentation de mémoires très intéressants aux prochains concours.

2° Que des communications relatives aux concours soient faites à la presse à différentes reprises et notamment quelques mois avant la date limite de remise des mémoires. Dans le même ordre d'idées, il a été entendu que les membres du jury feraient, dans leur rayon d'action, une propagande en faveur de la Fondation George Montefiore et donneraient une certaine publicité aux résultats du concours.

Avant de déclarer les opérations du jury terminées, le président annonce que le prochain concours est fixé à 1923.

Puis il remercia les membres du jury, d'abord au nom du Conseil d'Administration de l'A. I. M. de l'aide qu'ils ont bien voulu prêter à la Fondation, et ensuite, comme président du jury, des soins qu'ils ont apportés à l'examen des mémoires.

Bibliographie: Formulaire des centraux, par J. BRAIVE, Ingénieur des Arts et Manufactures (1). — Cet ouvrage qui en est à sa quatrième édition est un résumé par ordre alphabétique des cours et projets de l'Ecole centrale des Arts et Manufactures; il ne contient que des renseignements généraux et chacun dans sa spécialité, dit l'auteur, doit compléter chaque article par l'inscription des renseignements particuliers dont il a reconnu la valeur et l'utilité. Grâce à l'emploi du caractère de 7, et même de 6 pour certains tableaux, ce livre contient une documentation assez abondante malgré l'exigüité de son format. L'auteur, dans la préface, fait appel au concours de ses camarades ingénieurs pour la préparation de la prochaine édition. En attendant, nous lui conseillons déjà de remplacer le titre « Transport de l'énergie électrique » par « Transmission de l'énergie électrique ». Une rubrique qui demande un renouvellement de fond en comble est celle des « Unités industrielles et électriques ». On y voit, en effet, comme définition de l'ohm, celle de l'ohm légal abandonné depuis 1893 par le Congrès de Chicago qui lui a substitué l'ohm international. Les unités industrielles ne sont pas plus en progrès et l'auteur aurait pu profiter de la loi sur les unités de mesure du 2 avril 1919. L'auteur adopte la notation d'Hospitalier, c'est-à-dire représente les grandeurs par des lettres en italique, mais seulement pour les lettres minuscules; on voit ainsi, dans une même formule, des majuscules en caractères droits et des minuscules en italique. Espérons que l'unification sera complète dans la prochaine édition.

B. C.

Bibliographie: Les métallurgies électrolytiques et leurs applications, par Albert LEVASSEUR, ingénieur civil A. et M., professeur d'électrochimie et d'électrometallurgie à l'Ecole d'Electricité et de Mécanique industrielle de Paris et à l'Ecole Bréguet (2). — M. Levasseur nous donne aujourd'hui la suite de son « Electrochimie et Electrometallurgie ». Disons cependant, que le nouvel ouvrage de M. Levasseur forme un tout complet et indépendant, dans lequel tout ce qui se rapporte à l'électrometallurgie est traité avec l'ampleur nécessaire.

Après un rappel des principes généraux de la métallurgie électrolytique, l'auteur étudie, dans une série de monographies, l'électrometallurgie par voie humide ou par voie sèche des différents métaux (Na, Ca, Mg, Al, Zn, Fe, Ni, Sn, Pb, Cu, Ag, Au) et s'il y a lieu leur affinage électrolytique; mais il ne se contente pas d'une simple description des différents procédés; il les compare, fait connaître leur situation industrielle véritable, leur avenir probable et précise les circonstances, organiques ou extérieures, qui peuvent conditionner le succès de leur application.

L'ouvrage contient, en outre, des renseignements pratiques, nombreux et sûrs, relatifs à la production de dépôts métalliques: cuivrage, nickelage, zingage, etc. et aux applications particulières: galvanoplastie, galvanotypie, désétamage, etc.

B. C.

(1) Un volume, 15 cm x 9 cm, de ix-581 pages, avec de nombreuses figures dans le texte. Dunod, éditeur, 47 et 49, quai des Grands-Augustins, Paris (VI^e). Prix: 22 fr.

(2) Un volume, 21 cm x 13 cm, de 6-256 pages avec 22 fig. dans le texte, édité par Dunod, 47-49, quai des Grands-Augustins, Paris VI^e. Prix net, broché: 16 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Chute de tension dans les lignes triphasées basse tension (système en étoile avec fil neutre)

Les réseaux de distribution triphasés basse tension présentent parfois un déséquilibre notable, permanent ou momentané. L'auteur établit des formules générales donnant la chute de tension sur chacune des phases inégalement chargées. Il applique ces relations au cas des petites distributions dans les communes rurales peu peuplées où les exploitants sont parfois conduits à supprimer, en bout de ligne, une ou deux phases; il envisage tous les cas possibles et cite un projet d'éclairage d'un très petit village.

I. Introduction. — Pour une ligne « éclairage », la chute de tension est en phase avec la tension E . On a donc (fig. 1), par différence algébrique,

l'égalité algébrique : $E_{\text{arrivée}} = E_{\text{départ}} - dE$,

dE désignant la chute de tension.

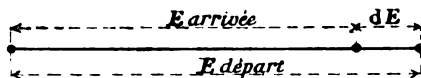


Fig. 1.

Pour une ligne « force motrice », la chute de tension fait un angle φ avec la tension E . On a donc (fig. 2), par différence géométrique,

l'égalité algébrique : $E_{\text{arrivée}} = E_{\text{départ}} - dE \cos \varphi$.

Dans les deux cas, la chute de tension dE se calcule de la manière habituelle au moyen de la résistance

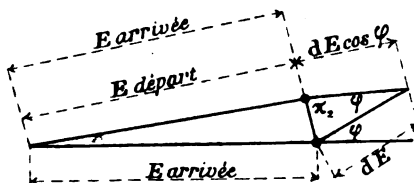


Fig. 2.

ohmique et de l'intensité du courant. Nous nous plaçons donc, dans ce qui suivra, dans le cas d'une ligne d'éclairage.

II. Phases équilibrées (cas général). — Bornons-nous à rappeler les formules usuelles.

Soient : P , la puissance transmise en watts;

$\frac{P}{3}$, la puissance transmise par chaque phase;

I , l'intensité du courant égale dans chaque phase;

E , la tension entre phase et neutre;

$E' = E\sqrt{3}$, la tension entre phases;

$R = \rho \frac{l}{s}$, la résistance totale du fil (ρ , résistance par

mètre et par millimètre carré, qui est égale à $\frac{1}{57}$ pour le cuivre; l , longueur simple en mètres; s , section en millimètres carrés);

dE , la chute de la tension entre phase et neutre : pE en pour 100 de E ;

dE' , la chute de la tension entre phases: pE' en pour 100 de E' .

Les formules connues sont les suivantes

$$dE = RI,$$

$$dE' = \sqrt{3} RI,$$

$$pE' = pE = 1,73 \frac{l}{S} \frac{P}{E'}.$$

$$E_{\text{arrivée}} = E_{\text{départ}} - \frac{1}{57} \frac{l}{S} \frac{P}{E'}$$

Remarque. — Dans le cas d'une ligne triphasée pour « force motrice », on peut remarquer que, quel que soit $\cos \varphi$, on aura, suivant ce qui a été dit plus haut

$$E_{\text{arrivée}} = E_{\text{départ}} - \sqrt{3} RI \cos \varphi = E_{\text{départ}} - R \frac{P}{E'}$$

égalité algébrique ou

$$E_{\text{arrivée}} = E_{\text{départ}} - \frac{1}{57} \frac{l}{S} \frac{P}{E'}$$

exactement comme pour une ligne « éclairage ». formule générale à employer dans tous les cas où les trois phases sont équilibrées, pour éclairage ou force motrice.

III. Phases non équilibrées. — Nous calculerons, d'après le schéma de la figure 3, la différence des tensions respectivement entre A et a, B et b, C et c, dans le cas où les lignes a, b, c sont parcourues par des

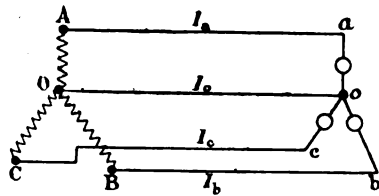


Fig. 3.

courants différents I_a, I_b, I_c , OA, OB, OC désignant les trois enroulements du transformateur et oa, ob, oc les circuits de lampes de l'abonné.

Remarque. — Dans ce calcul, nous supposons que les tensions des points A, B, C sont égales entre elles, soit E .

Ceci n'est pas rigoureusement exact. En effet, I_a, I_b, I_c étant différents, les chutes de tension dans les enroulements du transformateur sont différentes. Il en résulte que les tensions des points A, B, C sont légèrement différentes. En pratique, on peut admettre qu'elles sont les mêmes; en effet, les trois enroulements OA, OB, OC peuvent être considérés comme trois transformateurs monophasés identiques. Or, la chute de tension entre la pleine charge et la marche à vide atteint environ 2 à 3 pour 100 seulement; donc, pour un déséquilibre des phases allant même jusqu'à la disparition totale d'une phase (marche à vide), on aura entre les points A, B, C des différences de tension ne dépassant pas 2 à 3 v, ce qui est négligeable.

Appelons S , la section commune des fils de phase; s_0 , celle du neutre.

$R = \rho \frac{l}{S}$ sera la résistance de chaque phase (l en mètres et S en millimètres carré) et $r_0 = \rho \frac{l}{s_0}$, celle du neutre.

Comme $I_a \neq I_b \neq I_c$, la somme des trois courants triphasés ne s'annule pas au point o comme dans le cas où les phases sont équilibrées. Il en résulte que le neutre est parcouru par un courant $I_0 \neq 0$ qui ne sera pas en phase avec un des trois courants I_a, I_b ou I_c .

La différence de tension entre A et a, par exemple, que nous désignerons par dE_a s'obtiendra donc en faisant la somme géométrique :

$dE_a =$ perte ohmique sur la phase de A à a + perte ohmique sur le neutre de o à O.

C'est-à-dire

$$dE_a = RI_a + r_0 I_0 \text{ égalité géométrique,}$$

de même

$$dE_b = RI_b + r_0 I_0 \quad \text{Id}$$

$$dE_c = RI_c + r_0 I_0 \quad \text{Id}$$

Calculons, par exemple, dE_a . Pour cela, représentons graphiquement (fig. 4) les trois intensités des courants de ligne OA = I_a , OB = I_b , OC = I_c .

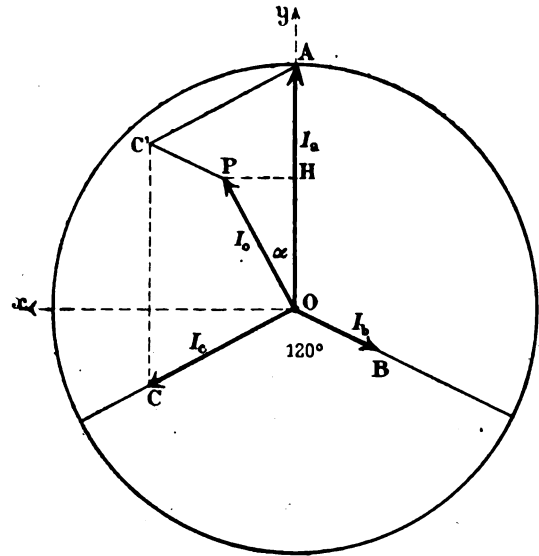


Fig. 4.

Le courant dans le neutre I_0 s'obtient en additionnant géométriquement OA, OB, OC; pour cela, on mène AC' équipollent à OC, C'P équipollent à OB et on obtient OP = I_0 faisant un angle α avec OA.

Sur la figure 5, traçons O'A' = RI_a et O'P' = $r_0 I_0$, faisant entre eux l'angle α .

Ces deux vecteurs O'A' et O'P' se composeront pour donner la chute de tension cherchée dE_a , à savoir $dE_a = \overline{O'D'}$.

Le triangle A'O'D' donne

$$\begin{aligned} \overline{O'D'}^2 &= \overline{O'A'}^2 + \overline{A'D'}^2 - \\ &\quad - 2 \overline{O'A'} \times \overline{A'D'} \cos \widehat{O'A'D'}, \end{aligned}$$

c'est-à-dire

$$dE_a^2 = R^2 I_a^2 + r_0^2 I_0^2 - 2 R r_0 I_a I_0 \cos (\pi - \alpha),$$

$$dE_a^2 = R^2 I_a^2 + r_0 I_0^2 + 2 R r_0 I_a I_0 \cos \alpha. \quad (1)$$

Calculons donc, au moyen de la première figure, les quantités inconnues qui entrent dans cette formule, c'est-à-dire I_0^2 et $I_0 \cos \alpha$.

Pour cela, écrivons que la projection du vecteur OP = I_0 sur Oy (puis sur Ox) est égale à celle du contour polygonal équivalent OACP.

Nous obtenons

$$\begin{aligned} \text{sur Oy : } I_0 \cos \alpha &= I_a + I_b \cos 120^\circ + I_c \cos 120^\circ; \\ \text{sur Ox : } I_0 \sin \alpha &= 0 + I_c \cos 30^\circ + I_b \cos (\pi - 30^\circ); \end{aligned}$$

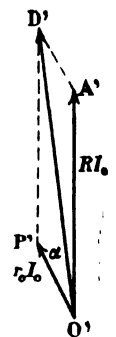


Fig. 5.

ou

$$I_0 \cos \alpha = I_a - \frac{I_b + I_c}{2}, \quad (2)$$

$$I_0 \sin \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} (I_c - I_b); \quad (3)$$

d'où l'on déduit, en élevant au carré et en additionnant,

$$I_0^2 = \left(I_a - \frac{I_b + I_c}{2} \right)^2 + \frac{3}{4} (I_c - I_b)^2, \quad (4)$$

(2) et (4) font connaître $I_0 \cos \alpha$ et I_0^2 qui, portés dans (1), donnent

$$\begin{aligned} dE_a^2 = R^2 I_a^2 + r_0^2 \left[\left(I_a - \frac{I_b + I_c}{2} \right)^2 + \frac{3}{4} (I_c - I_b)^2 \right] \\ + 2 R r_0 I_a \left[I_a - \frac{I_c + I_b}{2} \right], \end{aligned}$$

qui s'écrit plus commodément

$$dE_a^2 = \left[(R + r_0) I_a - r_0 \frac{I_b + I_c}{2} \right]^2 + \frac{3}{4} r_0^2 (I_b - I_c)^2. \quad (5)$$

Rien ne distinguant dans le calcul OA, OB et OC, nous obtiendrons dE_b et dE_c par permutation circulaire, ce qui donne donc

$$\begin{aligned} dE_a^2 &= \left[(R + r_0) I_a - r_0 \frac{I_b + I_c}{2} \right]^2 + \frac{3}{4} r_0^2 (I_b - I_c)^2, \\ dE_b^2 &= \left[(R + r_0) I_b - r_0 \frac{I_c + I_a}{2} \right]^2 + \frac{3}{4} r_0^2 (I_c - I_a)^2, \\ dE_c^2 &= \left[(R + r_0) I_c - r_0 \frac{I_a + I_b}{2} \right]^2 + \frac{3}{4} r_0^2 (I_a - I_b)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Si nous introduisons les sections S et s_0 et si nous appelons p_a, p_b, p_c les chutes de tension en centièmes de E , nous aurons pour des fils de cuivre

$$\begin{aligned} p_a &= 1,75 \frac{l}{E} \sqrt{\left[\left(\frac{1}{S} + \frac{1}{s_0} \right) I_a - \frac{1}{s_0} \frac{I_b + I_c}{2} \right]^2 + \frac{3}{4} \frac{(I_b - I_c)^2}{s_0^2}}, \\ p_b &= 1,75 \frac{l}{E} \sqrt{\left[\left(\frac{1}{S} + \frac{1}{s_0} \right) I_b - \frac{1}{s_0} \frac{I_c + I_a}{2} \right]^2 + \frac{3}{4} \frac{(I_c - I_a)^2}{s_0^2}}, \\ p_c &= 1,75 \frac{l}{E} \sqrt{\left[\left(\frac{1}{S} + \frac{1}{s_0} \right) I_c - \frac{1}{s_0} \frac{I_a + I_b}{2} \right]^2 + \frac{3}{4} \frac{(I_a - I_b)^2}{s_0^2}} \end{aligned} \quad (7)$$

Si l'on a besoin, non pas des valeurs en centièmes, mais bien des valeurs des chutes de tension elles-mêmes en volts, on appliquera les formules suivantes qui sont

équivalentes aux formules (7).

$$\begin{aligned} dE_a &= \frac{1}{57} l \sqrt{\left[\left(\frac{1}{S} + \frac{1}{s_0} \right) I_a - \frac{1}{s_0} \frac{I_b + I_c}{2} \right]^2 + \frac{3}{4} \frac{(I_b - I_c)^2}{s_0^2}}, \\ dE_b &= \frac{1}{57} l \sqrt{\left[\left(\frac{1}{S} + \frac{1}{s_0} \right) I_b - \frac{1}{s_0} \frac{I_c + I_a}{2} \right]^2 + \frac{3}{4} \frac{(I_c - I_a)^2}{s_0^2}}, \\ dE_c &= \frac{1}{57} l \sqrt{\left[\left(\frac{1}{S} + \frac{1}{s_0} \right) I_c - \frac{1}{s_0} \frac{I_a + I_b}{2} \right]^2 + \frac{3}{4} \frac{(I_a - I_b)^2}{s_0^2}} \end{aligned} \quad (7')$$

Dans le cas où les lignes seraient en aluminium, 1,75 serait à remplacer par 2,9 dans les formules (7) et $\frac{1}{57}$

à remplacer par $\frac{1}{34,5}$ dans (7').

Ces formules (7) sont tout à fait générales et s'appliquent à tous les cas.

Remarque. — Il est possible de retrouver et, par conséquent, de vérifier immédiatement les résultats qui précèdent, en appliquant la méthode des imaginaires. En effet les valeurs imaginaires des 3 courants sont

$$\begin{aligned} I_a, \\ I_b &= \frac{1 + j\sqrt{3}}{2}, \\ I_c &= \frac{1 - j\sqrt{3}}{2}. \end{aligned}$$

La valeur imaginaire du courant I_0 dans le neutre est donc : \bar{I}_0

$$\begin{aligned} \bar{I}_0 &= \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c, \\ \bar{I}_0 &= I_a - \frac{I_b}{2} (1 - j\sqrt{3}) - \frac{I_c}{2} (1 + j\sqrt{3}), \end{aligned}$$

La chute de tension dE_a a donc pour valeur imaginaire $d\bar{E}_a$

$$d\bar{E}_a = R I_a + r_0 \left[I_a - \frac{I_b}{2} (1 - j\sqrt{3}) - \frac{I_c}{2} (1 + j\sqrt{3}) \right].$$

Sa valeur réelle, c'est-à-dire son module, est donc

$$dE_a^2 = \left[R I_a + r_0 \left(I_a - \frac{I_b + I_c}{2} \right) \right]^2 + \frac{3}{4} r_0^2 (I_b - I_c)^2,$$

ou

$$dE_a^2 = \left[(R + r_0) I_a - r_0 \frac{I_b + I_c}{2} \right]^2 + \frac{3}{4} r_0^2 (I_b - I_c)^2;$$

ce qui est bien la formule (5) trouvée géométriquement plus haut.

IV. Cas particuliers. — Les équations 7 et (7') sont générales et s'appliquent au cas le plus compliqué où le neutre a une section différente des phases. Elles sont même valables pour le cas où les sections des phases

seraient différentes entre elles. Il suffirait alors, en désignant les sections des phases par S_a, S_b, S_c de remplacer :

S par S_a dans la formule de p_a ;

S par S_b dans la formule de p_b ;

S par S_c dans la formule de p_c .

Elles se simplifient notablement dans les cas particuliers employés en pratique.

Signalons, d'abord, une première simplification : le neutre a même section que les phases, $s_0 = S$.

Il vient alors

$$p_a = 1,75 \frac{l}{S E} \sqrt{\left(2I_a - \frac{I_b + I_c}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}(I_b - I_c)^2}, \quad (8)$$

et, pour p_b et p_c , deux formules analogues déduites de la première par permutation circulaire.

Quelle que soit la section du neutre, tous les cas qu'on peut envisager peuvent se ramener aux 6 cas suivants, groupés en 3 subdivisions :

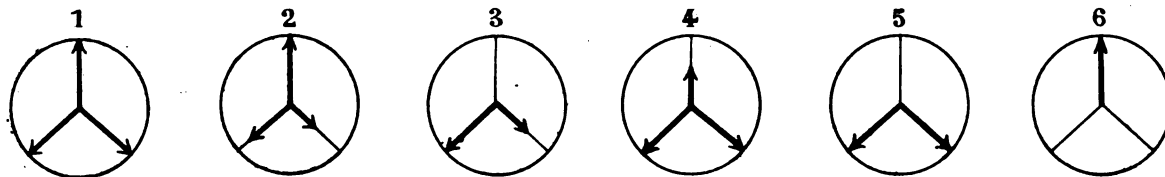


Fig. 6 à 11.

Cas 1. — C'est le cas d'un réseau équilibré ; nous n'y reviendrons pas.

Cas 2. — C'est le cas le plus général ; les formules (7) s'appliquent

Cas 3. — Les formules (7) ne se simplifient pas d'une manière particulièrement intéressante ; elles sont seulement un peu moins longues, puisque $I_a = 0$; nous ne les récrivons pas.

Cas 4. — Les formules (7) se simplifient sensiblement :

Elles deviennent, en posant $I_b = I_c = I$ et $I_a = i$,

$$\left. \begin{aligned} \text{si } s_0 \neq S, \\ p_a = 1,75 \frac{l}{E} \left[\left(\frac{1}{S} + \frac{1}{s_0} \right) i - \frac{1}{s_0} I \right], \\ p_b = p_c = 1,75 \frac{l}{E} \sqrt{\left(\left(\frac{1}{S} + \frac{1}{s_0} \right) I - \frac{1}{s_0} \frac{I+i}{2} \right)^2 + \frac{3}{4} \frac{(I-i)^2}{s_0^2}} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Si } s_0 = S, \\ p_a = 1,75 \frac{l}{S E} (2i - I), \\ p_b = p_c = 1,75 \frac{l}{S E} \sqrt{3I^2 - 3Ii + i^2}. \end{aligned} \right\} \quad (9')$$

On peut remarquer le cas intéressant où $i = \frac{I}{2}$. Dans

1. 3 PHASES ÉGALES. — C'est le cas d'un réseau équilibré sur lequel nous ne reviendrons pas.

On peut néanmoins vérifier que dans ce cas où $I_a = I_b = I_c = I$ les formules (7) donnent bien

$$p_a = p_b = p_c = 1,75 \frac{l}{S E},$$

qui est la formule ordinaire.

II. 3 PHASES DIFFÉRENTES :

2) Toutes trois $\neq 0$,

3) Une phase $= 0$.

III. 2 PHASES ÉGALES :

4) Les 2 phases égales sont $\neq 0$, la troisième $\neq 0$,

5) id $\neq 0$, id $= 0$,

6) id $= 0$, id $\neq 0$.

Ces cas se représentent schématiquement par les figures 6 à 11 suivantes

ce cas la chute de tension $p_a = 0$, pas de chute de tension sur la phase A.

On s'en rend compte, d'ailleurs, géométriquement d'une façon immédiate.

Cas 5. — Ce cas peut être considéré comme un cas particulier du cas 4 où $i = 0$. Les formules 7 donnent alors,

$$\left. \begin{aligned} \text{si } s_0 \neq S, \\ p_b = p_c = 1,75 \frac{l}{E} \sqrt{\frac{1}{S^2} + \frac{1}{S s_0} + \frac{1}{s_0^2}} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{si } s_0 = S, \\ p_b = p_c = 1,75 \frac{l}{S E} \sqrt{3}. \end{aligned} \right\} \quad (10')$$

Remarque. — Cette dernière formule, dans le cas où le neutre a même section que les phases, s'établit directement géométriquement d'une façon immédiate. Il suffit pour cela de considérer la figure 12. Le courant dans le neutre est $ON = I_0 = OC = I$. La chute de tension dE_c est OD diagonale du losange $OCDN$.

En effet, le neutre ayant même section que les phases, la figure 12 peut représenter, à une échelle convenable, le diagramme des quantités RI : il suffit de supposer toutes les longueurs multipliées par R . On a donc

$$dE_c = OD = RI\sqrt{3},$$

ou

$$p_c = p_b = 1,75 \frac{l}{S} \frac{1}{E} I \sqrt{3} z \quad (10')$$

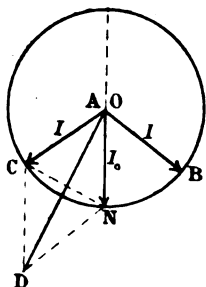


Fig. 12.

Cas 6. — Les formules (7) donnent alors, en posant $I_a = I$, $I_b = I_c = 0$,

$$\text{si } s_0 \neq S, \quad p_a = 1,75 \frac{l}{E} I \left(\frac{1}{S} + \frac{1}{s_0} \right); \quad (12)$$

$$\text{si } s_0 = S, \quad p_a = 1,75 \frac{2l}{S} \frac{I}{E} \quad (12')$$

formules évidentes à priori puisque nous avons dans ce cas une ligne monophasée ordinaire de longueur simple l et parcourue par un courant I .

Remarque. — Chacune de ces formules donnant p_a , on peut en déduire aussi directement dE_a en volts. On remplace simplement $\frac{1,75}{E}$ par $\frac{1}{57}$; on peut donc considérer que dE_a et p_a sont donnés par la même formule.

V. Application. — Considérons un réseau basse tension représenté par le schéma ci-dessous (fig. 13).

Toutes les valeurs marquées sur ce schéma sont des données : sections des phases et du neutre ; puissances

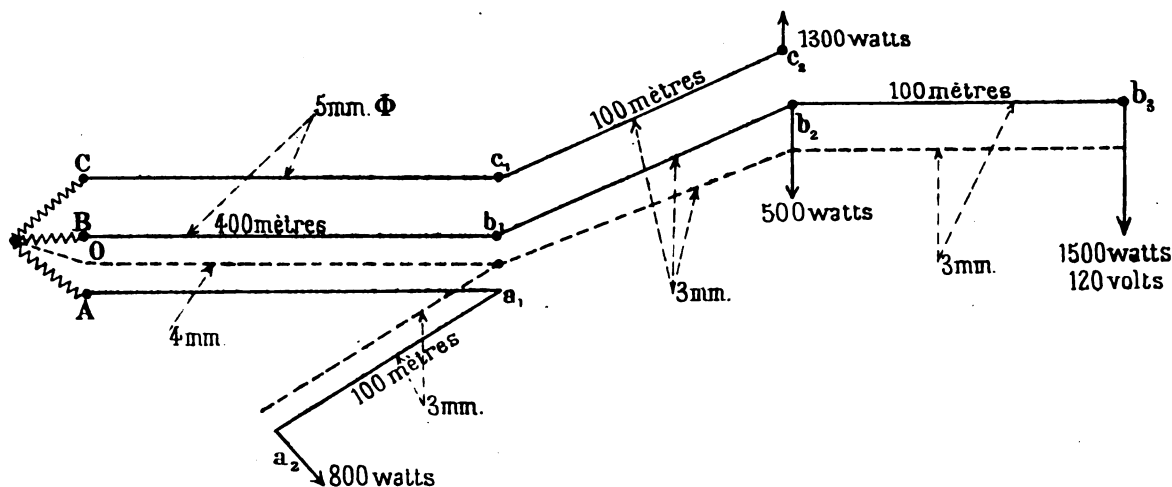


Fig. 13.

à obtenir aux points d'alimentation a_2 , b_1 , c_2 , b_2 . On se fixe, de plus, que la tension en b_2 , point le plus éloigné, devra être 120 v.

Proposons-nous de chercher quelle doit être la tension aux bornes secondaires du transformateur, et quelles seront les tensions aux points a_2 et c_2 .

PHASE B. — En b_2 nous avons 1500 w et 120 v; donc, dans le tronçon $b_2 b_1$, il circule $\frac{1500}{120} = 12,5$ A.

Nous sommes dans le cas (6). La formule (12') nous donnera la chute de tension

$$dE_b = \frac{1}{57} \times 2 \times \frac{100}{7,06} \times 12,5 = 6,2 \text{ v.}$$

La tension en b_1 est donc $120 + 6,2 = 126,2$ v, soit une perte de 4,9 pour 100.

Entre b_2 et b_3 la perte en watts est $6,2 \times 12,5 = 77,5$ w. De plus en b_2 , nous devons fournir 500 w; nous

aurons donc au total en b_2 2077,5 w, 126,2 v et, par conséquent, 16,4 A.

Tronçon $b_2 b_1$ de 100 m. — Nous sommes dans le cas (3), $I_b = 16,4$ A et $I_c = 10$ A.

Les formules (7') donnent

$$\begin{aligned} dE_b &= \frac{1}{57} \frac{l}{S} \sqrt{\left(2I_b - \frac{I_c}{2}\right)^2 + \frac{3}{4} I_c^2} \\ &= \frac{1}{57} \frac{100}{7,06} \sqrt{(32,8 - 5)^2 + \frac{3}{4} 100} = 7,2 \text{ v;} \end{aligned}$$

donc, en b_1 la tension est de $126,2 + 7,2 = 133,4$ v, perte, 5,5 pour 100.

Tronçon $b_1 B$ de 400 m. — Nous sommes dans le cas général (2)

$$I_a = 6, \quad I_b = 16,4, \quad I_c = 10 \text{ A;}$$

$$S = 19,6 \text{ mm}^2, \quad s_0 = 12,6 \text{ mm}^2, \quad \frac{1}{S} + \frac{1}{s_0} = 0,13,$$

Les formules (7') nous donnent

$$dE_b = \frac{1}{57} 400 \sqrt{\left(0,13 \times 16,4 - \frac{8}{12,6}\right)^2 + \frac{3(10-6)^2}{4 \cdot 12,6^2}} = 13,3 \text{ v};$$

donc la tension en B doit être $133,4 + 13,3 = 147 \text{ v}$.

Ce chiffre de 147 v est très élevé bien que les puissances transmises soient faibles et que les lignes soient plutôt courtes. Il est dû au déséquilibre des phases. En effet, si nous supposons les phases équilibrées, nous pouvons calculer quelle devrait être la tension en B, en supposant que les trois phases transportent jusqu'en b_3 , c'est-à-dire à 600 m, la puissance totale de 4 100 w admise dans cet exemple (alors que le chiffre de 147 v suppose que 2 600 w ne sont transmis qu'à 500 m et seulement 1 500 w à 600 m).

Dans ces conditions, on trouve immédiatement que le courant de chaque phase étant de 13,7 A, la chute de tension sur chaque phase est de :

13,7 v avec du fil de 4 mm (alors que précédemment nous avions 5 mm sur 400 m) ;

23,4 v avec du fil de 3 mm.

Ce qui donne en B: 134 v avec des fils de 4 mm et 143 v avec des fils de 3 mm.

Cet exemple montre donc bien l'inconvénient du déséquilibre, qui provoque de fortes chutes de tension bien que les charges considérées soient faibles et les distances courtes.

PHASE C. — *Tronçon Cc₁*. — Nous avons donc dans la phase C un courant de 10 A et une tension en C de 147 v.

Nous sommes dans le cas (2). Les formules (7') donnent

$$dE_c = \frac{1}{57} 400 \sqrt{\left(0,13 \cdot 10 - \frac{11,2}{12,6}\right)^2 + \frac{3 \cdot 10,4^2}{4 \cdot 159}} = 5,78 \text{ v};$$

La tension en c₁ est donc $147 - 5,78 = 141,22 \text{ v}$.

Tronçon c₁ c₂. — Nous sommes dans le cas (3).

$$dE_c = \frac{1}{57} \frac{100}{7,06} \sqrt{(2 \cdot 10 - 8,2)^2 + \frac{3}{4} \frac{16,4^2}{159}} = 4,59 \text{ v};$$

La tension en c₂ est donc $141,22 - 4,59 = 136,63 \text{ v}$.

PHASE A. — *Tronçon Aa₁*. — Nous avons dans la phase A un courant de 6 A et en A une tension de 147 v.

Nous sommes dans le cas (2). Les formules (7') donnent

$$dE_a = \frac{1}{57} 400 \sqrt{\left(0,13 \cdot 6 - \frac{13,2}{12,6}\right)^2 + \frac{3 \cdot 6,4^2}{4 \cdot 159}} = 3,62 \text{ v};$$

La tension en a₁ est donc $147 - 3,62 = 143,38 \text{ v}$.

Tronçon a₁ a₂. — Nous sommes dans le cas (6). La formule (12') donne

$$dE_a = \frac{1}{57} 2 \cdot \frac{100}{7,06} \cdot 6 = 2,98 \text{ v};$$

La tension en a₂ sera donc

$$143,28 - 2,98 = 140 \text{ v}.$$

Nous voyons là un autre inconvénient du déséquilibre, c'est que, si les tensions en b₂ et c₂ sont admissibles et respectivement de 120 et 136 v, en revanche la tension en a₂, 140 v, est trop élevée.

On pourrait remédier à cet excès de tension en a₂ en diminuant suffisamment la section du fil Aa₂. Il serait facile de calculer quelle devrait être sa section pour que la tension y reprenne la valeur normale de 125 v. Il suffirait d'appliquer les formules (7'), puisque nous avons vu qu'elles conviennent même au cas où les phases ont des sections différentes et que la section de la phase A influe seulement sur la chute de tension sur Aa₂ et non pas sur celle des phases B et C.

J. GODIN,

Ingenieur à l'Energie Electrique
du Littoral Méditerranéen.

Revue, analyses et informations

Les prix de l'Académie des Sciences.

Dans sa séance publique annuelle de décembre 1921, l'Académie des Sciences a décerné les prix relatifs au concours de 1920. Nous signalons ci-dessous, ainsi que nous le faisons chaque année, ceux de ces prix qui ont été attribués pour des travaux se rapportant à l'électricité ou aux sciences et industries connexes.

PRIX PIERSON-PERRIN (MÉCANIQUE). — Des trois prix de 1 000 fr qui ont été décernés, l'un est attribué à M. Denis EYDOUX, ingénieur des Ponts et Chaussées, professeur suppléant à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées pour ses ouvrages intitulés : « Hydraulique générale et appliquée » ; Hydraulique industrielle et usines électriques ».

PRIX DE 6 000 FR (NAVIGATION). — Sur ce prix, 4 000 fr ont été attribués à M. William LOTH, pensionnaire de la Fondation Thiers, pour ses diverses inventions, notamment pour

son procédé de conduite des navires à l'entrée des ports (qui a été l'objet d'un article de M. Loth publié dans cette Revue, 18 juin 1921, t. IX, p. 899); les autres 2 000 fr ont été attribués à M. René MESNY, professeur d'hydrographie, attaché au Service de la Radiotélégraphie militaire, pour ses travaux de radiogoniométrie.

Dans le rapport de la Commission chargée d'examiner les titres du candidat nous relevons cette phrase : « M. Loth, jeune pensionnaire de la Fondation Thiers, chevalier de la Légion d'honneur est, parmi les inventeurs de notre époque, celui qui, pendant et depuis cette guerre, a le plus contribué, par ses aptitudes scientifiques, la nature de ses travaux et leurs applications, à augmenter la sécurité de la navigation et l'efficacité de nos forces navales militaires et commerciales ».

Au sujet de M. René Mesny, la Commission s'exprime comme suit :

« L'application de procédés permettant de déterminer, à grande distance, la direction d'un centre d'émission d'ondes hertziennes, présente un haut intérêt, particulièrement en temps de guerre, pour la navigation maritime ou aérienne. Le système Bellini-Tosi était en 1914 le seul susceptible de donner des résultats pratiques; M. Mesny fut conduit à en compléter la théorie et en améliorer la sensibilité. La grandeur de la double antenne que comportait ce système n'en permettait guère l'emploi qu'à terre, mais en 1916 il fut remplacé par un tout autre dispositif. Un fil est enroulé sur un cadre qui est mobile autour d'un axe vertical et dont les dimensions sont assez restreintes pour qu'il puisse être placé sur un navire ou un aéronef. En orientant le plan du cadre dans une direction perpendiculaire à celle de la propagation des ondes à leur arrivée, on obtient, en principe, un silence absolu dans les téléphones récepteurs. En fait, il se produit des perturbations très complexes qui compromettent l'exactitude de la détermination de la direction cherchée. Les études expérimentales et théoriques de M. Mesny l'ont conduit à imaginer, d'une part, un « compensateur » augmentant la précision des observations, d'autre part, un dispositif levant l'incertitude de 180° qui subsiste lorsque l'on a obtenu le silence.

» Chargé d'étudier l'application des cadres tournants à bord des navires, il détermina les déviations des ondes se produisant au voisinage d'une masse conductrice et établit des formules dont les expériences, faites à bord et à terre sur des collines de forme allongée, ont démontré l'exactitude. Elles seront d'une grande importance pour la pratique des « radio-compas » dont la mise au point se poursuit.

» M. Mesny eut à procéder à l'installation, sur nos côtes et sur celles de nos possessions africaines, d'une vingtaine de postes radiogoniométriques destinés à déterminer le relèvement des navires passant au large et à leur en transmettre l'indication. La plupart d'entre eux sont encore actuellement en service.

» Ses études ont porté de plus sur l'absorption des ondes par la mer et sur la résistance d'un circuit oscillant. Attaché depuis avril 1920 au Service de la Télégraphie militaire et placé sous les ordres du général Ferrié, M. Mesny a participé, avec quelques autres collaborateurs, à ses études sur les déviations nocturnes des ondes de grande longueur dont les premiers résultats ont été récemment communiqués à l'Académie. »

PRIX GASTON PLANTÉ (PHYSIQUE). — Le prix est décerné à M. Cyrille GUILBERT, sous-directeur de l'Ecole supérieure d'Electricité, professeur adjoint au Conservatoire national des Arts et Métiers pour l'ensemble de ses travaux sur l'électricité.

« M. Guilbert, écrit M. Daniel Berthelot dans son rapport, a rendu depuis de longues années de grands services dans l'enseignement comme professeur et dans l'industrie comme ingénieur-conseil. Il a publié de nombreux travaux originaux sur l'électrotechnique dans les revues périodiques; ceux qui sont relatifs à la théorie des machines synchrones et asynchrones contiennent un grand nombre de considérations nouvelles et importantes, notamment sur les calculs des coefficients de force électromotrice et de force magnétomotrice dans ces machines, sur l'influence de la saturation du fer, sur les conditions d'accouplement des alternateurs inégaux, sur les diagrammes de correction des moteurs synchrones, sur les méthodes d'essai des moteurs à courant continu et à courant alternatif; on y trouve des études très poussées sur les méthodes de correction à appliquer dans ces essais pour tenir compte de toutes les circonstances de perturbations, etc. »

PRIX HÉBERT (PHYSIQUE). — Ce prix a été décerné à M. J.-B. POMEY, ingénieur en chef des Télégraphes, qui a écrit plusieurs ouvrages très intéressants sur l'électricité théorique (Cours d'Electricité théorique. Introduction à la Télégraphie et à la Téléphonie sans fil) et de nombreux articles scientifiques et techniques sur tout ce qui touche à l'électricité et à la télégraphie. M. Pomey s'est distingué pendant la guerre par les grands services qu'il a rendus comme chef des services télégraphiques à l'armée de Salonique, puis à l'Etablissement central de la Télégraphie militaire. »

PRIX HENRI DE PARVILLE (PHYSIQUE). — M. Paul DE LA GORCE, ingénieur, chef des travaux au Laboratoire central d'Electricité, a été choisi comme lauréat.

« M. de la Gorce a publié de 1908 à 1910, en collaboration avec M. Laporte, plusieurs importants mémoires sur l'équivalent électrochimique de l'argent qui, rapprochés des recherches poursuivies en même temps dans d'autres pays, ont permis de fixer la valeur de cette constante fondamentale pour le système des unités électriques.

» Avec le concours de M. Laporte, puis de M. Girault, il aborda ensuite avec succès l'important problème pratique des essais des diélectriques sous des tensions continues ou alternatives. Il prit part, en 1913, à l'étude photométrique des nouvelles lampes électriques, lumineuses particulièrement dans le rouge extrême et l'ultra-violet; enfin, en 1914 et 1916 il a publié deux notes intéressantes sur la détermination des harmoniques d'une courbe de tension alternative par la méthode de résonance, et sur l'essai des transformations de mesure de courant. »

PRIX HUGHES (PHYSIQUE). — Ce prix est attribué à M. Joseph BETHENOD, ingénieur-conseil de la Société alsacienne de Constructions mécaniques et de la Société française radio-électrique, pour ses travaux sur la télégraphie sans fil.

« M. J. Bethenod s'est signalé au cours des quinze dernières années par des recherches variées et fort intéressantes sur de nombreux sujets touchant à des branches de l'électrotechnique; mais les plus importantes ont trait à la télégraphie sans fil. On lui doit, en particulier, d'avoir mis au point un matériel très bien réussi à étincelles musicales par alternateur réglé directement à la résonance, des vibreurs pour la télégraphie à bord des avions, des appareils multiplicateurs de fréquence, des alternateurs à haute fréquence, des éclateurs à étincelles synchrones accouplés en parallèle par induction, etc.

» Il a développé dans diverses revues françaises et étrangères des théories relatives aux différentes questions de télégraphie sans fil et dont plusieurs constituent des progrès importants par rapport à ce qu'on savait auparavant; notamment en ce qui concerne le rendement des antennes, le rendement d'un système de transmissions hertziennes, la théorie des audions générateurs, de la modulation et de la détection par audions, etc. »

PRIX LE CONTE. — Ainsi que nous l'avons antérieurement annoncé, ce prix a été décerné à M. Georges CLAUDE pour « avoir réussi, grâce à l'utilisation judicieuse de facteurs physiques, à créer de nouvelles et importantes industries qui, nées dans notre pays, se sont ensuite répandues dans le monde entier ». Le rapport de la Commission chargée de l'attribution du prix débute comme suit :

« Dès sa sortie de l'Ecole de Physique et Chimie de la Ville de Paris, M. Georges Claude, ingénieur-électricien à l'usine des Halles, puis à la Compagnie française Thomson-Houston, se signala par des études remarquées sur la mesure des différences de phases des courants alternatifs et sur le mécanisme des courants de retour des tramways, et surtout

par la publication d'un ouvrage de vulgarisation, « l'Électricité à la portée de tout le monde », qui est justement regardé comme un modèle du genre. Un talent d'exposition imagé et primesautier s'y allie heureusement à une science sûre et exacte. Plusieurs générations de lecteurs ont été initiées à la compréhension des phénomènes électriques par cet excellent ouvrage, qui a été traduit en diverses langues étrangères et dont l'édition française a été tirée maintenant à près de 50 000 exemplaires. L'Académie des Sciences lui a décerné le prix Hébert. En 1896, frappé des accidents auxquels avait donné lieu l'acétylène liquide, M. Claude proposa, en collaboration avec M. Hess, l'emploi de l'acétylène dissous dans l'acétone, dont la consommation, en France seulement, dépasse actuellement 600 000 m³ par an.

» Son attention ayant été attirée par cette recherche sur les hautes températures nécessaires à la préparation du carbure de calcium, M. Claude eut l'idée qu'elles pourraient être avantageusement obtenues au moyen de l'oxygène. Il chercha à extraire ce gaz de l'air : problème déjà bien ancien, que les méthodes purement chimiques s'étaient montrées impuissantes à résoudre économiquement. Il essaya successivement divers procédés physiques : la dissolution inégale des deux gaz essentiels de l'air, puis la centrifugation. Il trouva enfin la solution dans la liquéfaction de l'air, dont les travaux de Cailletet avaient démontré la possibilité au laboratoire et ceux de Linde à l'usine. M. Claude eut recours à des moyens différents et supérieurs à ceux du savant allemand. A la détente à l'air libre, il substitua la détente avec travail extérieur qui produit un abaissement de température beaucoup plus grand. Bien que manifestement supérieur au point de vue théorique, ce mode de détente avait échoué, lors des essais de Solvay et de Siemens devant une difficulté pratique que Linde déclara insurmontable : le graissage des moteurs à air comprimé à des températures voisines de 200° au-dessous de zéro. M. Claude la résolut d'une manière aussi simple qu'imprévue : il montra que l'éther de pétrole, très mobile à la température ordinaire, devient un excellent lubrifiant à ces très basses températures. »

Le rapport rappelle ensuite les travaux de Georges Claude sur la liquéfaction industrielle de l'air et ses travaux plus récents sur la synthèse de l'ammoniac par l'azote et l'hydrogène sous des pressions de 900 à 1 000 atmosphères.

FONDATION FOUTREUIL. — Parmi les subventions qui ont été accordées sur cette fondation, nous relevons :

Subvention de 3 000 fr à M. LÉON GILLET, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, pour une installation destinée à l'étude du magnétisme et à l'examen des cassures des métaux ;

Subvention de 4 000 fr à l'INSTITUT INDUSTRIEL DU NORD DE LA FRANCE pour perfectionner l'outillage scientifique de cet établissement ;

Subvention de 15 000 fr à l'ACADÉMIE DES SCIENCES, pour l'impression du catalogue de l'inventaire des périodiques scientifiques des bibliothèques de Paris.

Congrès des physiciens allemands, Iéna, septembre 1921 (1).

A l'ordre du jour de ce Congrès, qui réunit plus de 700 membres, avaient été inscrites les communications suivantes : M. von Laue, sur de nouvelles recherches optiques sur les corps en mouvement ; M. R. Pohl, sur la conductibilité électrique en fonction de l'éclairement. Certains corps tels que le diamant sont isolants dans l'obscurité, mais cessent de l'être dans la lumière et leur résistance varie avec

la longueur d'onde de celle-ci. Pour les substances phosphorescentes, il y a concordance entre la conductibilité photo-électrique et la phosphorescence et les deux maxima se présentent pour les mêmes vibrations.

M. G. Leithäuser, sur la télégraphie et la téléphonie multiple par courants de haute fréquence.

M. M. Meyer, sur la théorie des self-inductions de compensation. Les valeurs à donner aux self-inductions, calculées d'après les formules de Pupin, sont un peu trop fortes et la pratique montre qu'elles doivent avoir une valeur moins grande.

M. F. Trautwein, sur de nouvelles méthodes pour les mesures en haute fréquence avec les tubes à vide, communiquées par le Bureau technique des Télégraphes. Le volt-mètre à tube donne les tensions de 1/10 de volt et de 1/100 s'il est muni d'un amplificateur spécial. La faible capacité grille-cathode ne cause l'introduction d'aucun courant et permet les mesures statiques. Pour la mesure des faibles intensités, on utilise la relation entre l'émission d'électrons et le chauffage du filament.

M. W. Hahn, sur l'installation technique du réseau d'empire de télégraphie sans fil. Il comprenait, en 1919, 17 postes à étincelles, 76 postes récepteurs et 8 postes météorologiques. La station de Zehlendorf est reliée au central de Berlin. La transmission automatique a donné de bons résultats entre Berlin-Londres et Berlin-Leipzig et l'on a essayé la réception et la transmission téléphoniques simultanées entre Berlin et Lyngby près de Copenhague.

M. K. Dohmen, sur le développement du réseau télégraphique et téléphonique en Allemagne. Depuis 1914, on utilise des câbles comportant des conducteurs de 2 et 3 mm. L'emploi d'amplificateurs a permis de réduire leur diamètre à 1,9 et 0,9 mm et a donné toute satisfaction. On propose d'en généraliser l'emploi.

M. W. Rogowski, sur l'émission par lampes avec les couplages de la grille avec les circuits primaire et secondaire d'un circuit oscillant. L'auteur montre les deux oscillations qui prennent naissance et, des courbes obtenues par expérience, déduit leurs amplitudes respectives dans les divers couplages employés et dans celui qu'il préconise.

M. E. Alberti, sur la forme et la phase des oscillations produites par les émetteurs à lampes. Des essais qualitatifs furent faits au tube de Braun pour vérifier les déductions théoriques, à des longueurs d'ondes de 1 000 à 18 000 m. On utilisa la méthode des figures de Lissajous, grâce à des champs auxiliaires sinusoïdaux, électriques et magnétiques, produisant une déviation des rayons cathodiques. Les oscillations étudiées furent celles de l'intensité dans l'antenne, de la tension et de l'intensité anodiques, de la tension et de l'intensité dans la grille.

M. F. Harmes, sur la théorie des systèmes couplés auto-exciteurs. L'auteur s'appuie sur l'équation différentielle relative à deux pendules reliés par un ressort et montre que les nombres d'oscillations dans ces systèmes dépendent non seulement des constantes des circuits oscillants, mais encore de leur couplage.

M. N. von Korshenewsky et Wien, sur la libération des circuits oscillants électriques couplés. Deux systèmes sont proposés pour isoler un ensemble électrique des influences voisines.

M. H.-G. Moller, sur le problème de l'élimination des parasites en télégraphie sans fil. L'auteur trouve que cette question, facilement résolue pour les transmissions lentes, est beaucoup plus difficile pour les grandes vitesses de la transmission automatique.

M. R. Schachenmeyer, sur la détermination du champ électromagnétique d'une antenne émettrice faiblement amortie. Cette question n'est pas encore résolue pour les antennes usuelles à forte capacité terminale. L'auteur donne un procédé approximatif qui a donné de bons résultats.

M. L. Kühn, sur la téléphonie sans fil.

M. A. Meissner, sur la résistance de terre des antennes. Cette résistance, d'environ 1,5 à 2,5 ohms, a pu être réduite à 0,1 ohm par l'emploi de contrepois. L'auteur conseille de répartir les prises de terre suivant la distribution des lignes de forces du champ produit par l'antenne. — B. H.

(1) E. T. Z., novembre 1921, t. XLII, p. 1249-1255.

SECTION INDUSTRIELLE

Les moteurs synchrones auto-démarrateurs

Les moteurs synchrones ayant des pôles pleins, ou pourvus d'une cage d'écureuil sur leurs pôles, sont capables de démarrer seuls, d'arriver et de s'accrocher au synchronisme sans secours extérieur, mais ils ne sont généralement capables de le faire qu'en entraînant une fraction faible de leur charge. L'auteur se propose ici d'étudier ces phénomènes de démarrage et d'accrochage pour voir dans quelles conditions on peut augmenter le couple moteur pendant toute la période de la mise en vitesse. Pour cela, il faut distinguer deux phases: la première, celle du démarrage proprement dit, est celle où le moteur fonctionne exactement comme un moteur d'induction asynchrone ordinaire; sa vitesse limite n'est donc pas celle du synchronisme, mais correspond à un certain glissement; la seconde phase, ou phase d'accrochage, correspond à un régime troublé pendant lequel la vitesse franchit cet intervalle qui correspond au glissement et arrive au synchronisme.

I. Le démarrage proprement dit. — 1. LES COUPLES ASYNCHRONES. — Pendant la période du démarrage proprement dit, seuls agissent efficacement les couples d'induction que nous appellerons aussi couples asynchrones. Ce qui caractérise ces couples d'induction, c'est qu'ils gardent toujours le même signe positif quelle que soit la vitesse de l'induit ou rotor, tant que le glissement demeure positif, et que, tout près du synchronisme au moins, leur valeur diminue directement avec la valeur de ce glissement, pour s'annuler au synchronisme. Si le rotor comporte un circuit polyphasé, comme c'est le cas habituel, le flux tournant du stator y provoque un autre champ tournant et l'action mutuelle de ces champs tournants, l'un inducteur, l'autre induit, donne naissance à un couple dont la valeur demeure constante à tout moment (pour un glissement donné); tel est l'effet produit sur des pôles massifs ou une cage d'écureuil portée par ces pôles. Mais le couple n'est plus constant dans l'intervalle d'une période quand il résulte de l'action du champ tournant du stator sur un enroulement monophasé, tel que l'enroulement excitateur ordinaire des pôles d'un moteur synchrone.

Dans un tel cas (identique à celui d'un moteur d'induction dont une phase du rotor se rompt pendant la marche), le rotor réagit par un flux alternatif et le couple devient pulsatoire. On le démontre simplement en décomposant ce flux alternatif, qui a la fréquence du glissement, en deux flux tournants dans le rotor; l'un tournant dans le sens de la rotation du rotor possède la même vitesse absolue que le flux tournant du stator et, par son action constante sur celui-ci, provoque un couple moteur constant comme il vient d'être dit ci-dessus; l'autre flux, tournant dans le rotor dans le sens inverse, a par rapport au flux du stator une vitesse de rotation double de celle du glissement et, par son action sur ce flux, provoque un couple tantôt positif et tantôt négatif. Le couple résultant est donc

bien pulsatoire et son onde perturbatrice a une fréquence double de celle du glissement.

Dans un moteur synchrone du type ordinaire, c'est le premier couple, produit par les courants induits dans la cage d'écureuil, qui agit d'abord au début du démarrage. Un autre couple asynchrone pourrait aussi apparaître, si on fermait le circuit monophasé formé par le bobinage excitateur des pôles. Mais on ne ferme pas ce circuit dès le début du démarrage, parce que sa réactance est grande, ce qui n'est pas favorable en ce moment à la production d'un bon couple, et parce que le flux monophasé qu'il produirait, s'il balayait le stator avec une grande fréquence, pourrait provoquer dans le réseau des perturbations profondes, résultant, par exemple, dans un accrochage au demi-synchronisme (phénomène de Gœrges). Mais dès que le couple polyphasé d'induction a produit son effet et que le glissement est devenu faible, les courants d'induction monophasés induits dans le circuit excitateur sont capables de produire leur plus grand couple asynchrone, dès qu'on ferme ce circuit sur son excitatrice ou son réseau d'alimentation.

2. VALEUR DES COURANTS EN MARCHÉ ASYNCHRONE. — Un diagramme circulaire peut être tracé pour représenter le fonctionnement en marche asynchrone. Mais on aura une idée suffisante du courant absorbé par le stator si on compare le fonctionnement en moteur asynchrone au fonctionnement correspondant comme moteur synchrone. Si le moteur tourne à vide, son stator devra lui fournir un nombre d'ampères-tours à peu près égal à ceux que l'inducteur doit fournir pour l'excitation à vide comme moteur synchrone, parce qu'il s'agit dans chaque cas de produire à peu près le même flux dans un même circuit magnétique. De plus, à toute charge, les ampères-tours wattés dus au stator doivent être également fournis par le stator lui-même dans un cas, par l'inducteur dans l'autre cas. Si

on néglige les influences secondaires des dispersions et des pertes ohmiques, on peut donc dire qu'à charge utile égale le moteur fonctionnant en asynchrone fournit par son stator un nombre d'ampères-tours qui n'est pas très différent de celui que doit fournir l'inducteur dans le cas de marche synchrone uniquement wattée ($\cos \varphi = 1$).

Cette règle approchée permet d'évaluer le courant qu'absorbe le stator quand le moteur a atteint son régime en marche asynchrone. Dans un moteur synchrone, en effet, les ampères-tours inducteurs ont avec les ampères-tours de réaction d'induit une certaine relation, qu'on peut estimer par la capacité de surcharge du moteur. Pour un moteur synchrone normal par exemple, prévu pour marche wattée, la capacité de surcharge maximum étant de 50 pour 100 à 60 pour 100 avant décrochage, les ampères-tours inducteurs sont environ égaux à deux fois ceux dus à la réaction d'induit ; aussi, pour donner son couple normal en marche de régime asynchrone, le stator absorbera également le double environ de son courant normal. Pour une même capacité de surcharge, le même rapport entre les ampères-tours inducteurs et ceux de réaction d'induit doit encore exister si le moteur synchrone fonctionne en marche dévattée, avec $\cos \varphi = 0,8$ en avant par exemple. Mais, si on ramène alors le $\cos \varphi$ à être égal à 1, on diminue pour cela les ampères-tours inducteurs, et ceux-ci ne sont plus alors que les $4/3$ environ des ampères-tours de réaction d'induit ; le courant du stator en marche asynchrone ne serait également que les $4/3$ environ du courant normal pour fournir le plein couple à vitesse de régime.

Mais au début du démarrage, quand le glissement est de 100 pour 100, le courant absorbé est de beaucoup plus considérable. Ce fonctionnement correspond, en effet, à l'essai en court-circuit d'un moteur d'induction ayant sur son rotor une cage d'écurieil qu'on ne peut pas modifier. Les dispersions assez grandes des bobinages du stator et du rotor limitent d'ordinaire ce courant à six ou sept fois le courant normal. Mais la grandeur de tous ces courants, et la petitesse relative des couples qui leur correspondent, se traduisent par les inconvénients connus des moteurs synchrones auto-démarrateurs. On est obligé de ne démarrer ces moteurs que sous tension réduite, d'où complication d'appareillage et de manœuvre et on n'obtient ainsi qu'un couple qui dépasse rarement la moitié du couple normal ; de plus, le couple maximum ne peut être obtenu qu'à une seule vitesse, parce que la résistance de la cage d'écurieil ne peut être changée à mesure que le glissement diminue.

3. AMÉLIORATION DES CONDITIONS DU DÉMARRAGE. — Pour améliorer ces conditions, il faut que le moteur synchrone ressemble davantage à un moteur d'induction ordinaire. Les moteurs d'induction sont caractérisés par un circuit magnétique très peu résistant (faible entrefer), et par des coefficients de dispersion aussi réduits que possible pour les bobinages.

Il n'y a que des avantages pour le moteur synchrone à réduire la dispersion de l'enroulement du stator ; on en fera autant pour la cage d'écurieil en la disposant près de l'entrefer dans des encoches repérées. Mais on ne peut pas réduire comme on le veut la résistance magnétique du circuit de flux principal. Nous venons de voir que les ampères-tours d'excitation en charge doivent être supérieurs à la réaction d'induit d'au moins autant que la surcharge maximum doit être supérieure à la charge normale. Cela exige, pour les surcharges ordinairement demandées et pour les moteurs devant fonctionner en marche wattée, que les ampères-tours d'excitation à vide soient déjà sensiblement supérieurs à ceux de réaction d'induit. Cela rend le moteur très différent d'un bon moteur asynchrone, dont les ampères-tours à vide seraient cinq ou six fois plus faibles.

Mais, si on veut bien se contenter d'une surcharge plus faible, et surtout si on peut faire fonctionner le moteur en marche dévattée en avant, ou encore si, au moment des surcharges, on a le temps ou le moyen d'augmenter l'excitation, on peut réduire considérablement le courant d'excitation à vide du moteur. L'une ou l'autre de ces conditions, sinon deux ou les trois, pourra généralement être remplie. Par exemple, sur un réseau dont la tension ne varie pas trop, une capacité de surcharge de 50 pour 100 suffit la plupart du temps (avec une bonne cage d'écurieil qui amortit les oscillations pendulaires) ; de plus, il y a très souvent avantage à compenser, par une marche en dévattée en avant, le courant dévatté en arrière de petits moteurs voisins. Dans ces conditions, on peut se contenter sans imprudence d'avoir comme ampères-tours d'excitation à vide les deux tiers ou les trois quarts de ceux de réaction d'induit. Le courant absorbé par le stator en marche de régime asynchrone pour fournir le couple normal ne sera alors que les quatre tiers environ du courant normal.

Cela n'empêcherait pas le courant de démarrage d'être excessif si on n'y obviât par des moyens analogues à ceux qu'on emploie dans les moteurs d'induction. Il faut agir pour cela sur la résistance des circuits induits, ce qui a le double effet d'amoindrir le courant tout en augmentant le couple. Une solution complète consiste à constituer le circuit induit du rotor par un véritable bobinage polyphasé disposé dans les encoches près de l'entrefer, et connecté par des bagues à un rhéostat de réglage extérieur. Mais ce moyen sera inutilement compliqué et coûteux pour la plupart des cas. On pourra souvent se contenter de disposer sur le rotor une double cage d'écurieil, dont la partie externe ou de surface, plus résistante, agit surtout au commencement du démarrage, et la partie interne ou profonde, moins résistante, produit son couple pour les glissements plus faibles. Ces dispositifs, ou d'autres du même genre, tels que les conducteurs induits à grand effet pelliculaire, rendent le couple plus uniforme pendant la durée du démarrage. Les bobines d'excitation elles-mêmes constituent un

circuit dont l'action ne serait pas efficace au début du démarrage, comme il a été expliqué plus haut, mais qui est capable de se substituer utilement aux autres quand on approche du synchronisme ; nous y reviendrons tout à l'heure.

II. L'accrochage au synchronisme. — C'est ainsi qu'on peut réaliser un moteur capable de démarrer une charge notable dans des conditions satisfaisantes. Il reste encore à l'amener au synchronisme.

1. LES COUPLES SYNCHRONES. — C'est alors qu'interviennent les couples qui font mouvoir les moteurs synchrones, c'est-à-dire les actions électromagnétiques entre pôles continus et pôles de champ tournant, ou bien les attractions qu'exercent des pôles de champ tournant sur les saillies polaires d'un inducteur non cylindrique. Ce qui caractérise ces couples synchrones, c'est qu'ils sont tantôt positifs ou moteurs et tantôt négatifs ou résistants, suivant la position qu'un pôle ou un autre (ou bien une saillie polaire ou un interpôle) présente par rapport à un pôle donné du champ tournant.

Le couple synchrone le plus important est celui qui est dû à l'action qu'exerce sur le champ tournant du stator le flux produit par les pôles inducteurs du rotor quand ils sont excités par du courant continu. Le couple moteur est proportionnel au produit des valeurs de ces deux flux l'une par l'autre, et par le sinus de l'angle électrique qu'ils font entre eux. Il ne peut demeurer constant qu'à vitesse synchrone, quand la position relative des deux flux l'un par rapport à l'autre demeure invariable. Le couple devient alternativement positif et négatif quand il y a du glissement, chaque changement de signe correspondant au glissement d'un pôle et chaque période, au glissement d'un double pas polaire ; la fréquence de ce couple alternatif est donc celle du glissement, son amplitude étant égale à la valeur maximum du couple après accrochage.

Un couple synchrone se manifeste également avec les moteurs à pôles saillants même quand ceux-ci ne sont pas excités. Il est dû à la tendance qu'a le champ tournant du stator à se fermer par le chemin de résistance magnétique minimum, c'est-à-dire par les saillies polaires. Ce couple peut être positif ou négatif, car les pôles du champ tournant attirent les saillies polaires qui sont les plus voisines et, pendant le glissement, ces attractions sont la moitié du temps dirigées dans le sens de la rotation des flux du stator, et l'autre moitié, dans le sens contraire. Ce couple est donc un couple alternatif ; sa fréquence est double de celle du glissement, parce que le flux du stator tend aussi bien à accrocher un pôle qu'un autre et que sa valeur est deux fois positive pendant le glissement de deux pôles. La valeur maximum de ce couple est assez considérable et permet l'accrochage sans excitation d'une fraction notable de la charge d'un moteur synchrone à pôles saillants.

2. OSCILLATIONS DUES AUX COUPLES SYNCHRONES. — Le moteur, démarré en moteur asynchrone, tend à prendre

une vitesse limite non synchrone, le glissement étant à peu près proportionnel à la charge. Cependant est apparu le couple synchrone des attractions magnétiques sur les saillies polaires. Ce couple, de valeur moyenne nulle, serait incapable d'accélérer le rotor, mais étant alternatif, il lui imprime des balancements autour de sa vitesse d'équilibre.

L'amplitude de ces oscillations est proportionnelle, comme dans tout pendule, à la valeur du couple perturbateur, à la durée de la période de la perturbation et à l'inverse du moment d'inertie du rotor ; elle est donc plus grande si le glissement est petit (c'est-à-dire si la résistance opposée au moteur est faible) et si la partie tournante est légère. Par l'effet de ces balancements, le glissement a tendance à varier autour de sa valeur moyenne ; il peut être très faible pendant un instant, et même devenir nul, ce qui veut dire que l'accrochage s'est produit. Il faut pour cela que le couple synchrone alternatif ait une valeur positive assez considérable et pendant assez longtemps pour qu'il puisse accélérer le rotor jusqu'à la vitesse du synchronisme. Autrement dit encore, il faut que la vitesse pendulaire du balancement puisse arriver à égaler celle qui correspond au glissement, pour qu'en s'ajoutant à la vitesse moyenne de rotation elle atteigne à un moment la vitesse synchrone.

On n'obtient généralement de cette manière que l'accrochage de très faibles charges. Le plus souvent, il est nécessaire d'envoyer d'abord dans le circuit d'excitation du courant emprunté à une excitatrice, ou à un réseau. En faisant cette manœuvre, on permet à deux courants différents de s'établir et à deux couples d'apparaître.

L'un de ces couples est le couple d'induction pulsatoire provoqué par le courant monophasé qu'engendre le glissement dans le circuit excitateur, courant qui se ferme par l'excitatrice ou le réseau d'excitation. Il dépend donc des constantes électriques de ce circuit, excitatrice ou réseau compris ; il a pour effet de diminuer plus ou moins le glissement du moteur fonctionnant en moteur d'induction. De plus, il provoque, étant pulsatoire, des oscillations dont la période est double de celle du glissement.

L'autre couple est le couple synchrone principal dû au courant continu d'excitation, couple alternatif dont la fréquence est celle du glissement. Il provoque, pour sa part, des oscillations et ces oscillations sont beaucoup plus considérables que celles dont il vient d'être question, parce que cette fois le couple perturbateur est beaucoup plus important que précédemment, et parce que sa période est deux fois plus longue (à glissement égal). Toutes ces oscillations peuvent d'ailleurs arriver à s'ajouter. Si l'on se souvient que le glissement a été diminué par le couple d'induction monophasé, on conçoit que l'accrochage peut se produire beaucoup plus facilement que dans le cas précédent.

3. LIMITES À L'ACCROCHAGE PAR OSCILLATIONS. — La charge que l'on peut accrocher a cependant des limites

qui sont assez vite atteintes. Nous avons vu, en effet, que la vitesse de balancement devait pour l'accrochage atteindre celle qui correspond au glissement. L'on peut aisément se rendre compte qu'il est, par exemple, pratiquement impossible que les oscillations provoquent une vitesse de balancement correspondant au glissement de pleine charge.

Supposons que ce glissement ne soit que de 5 pour 100 (ce qui est faible pour un tel moteur). Avec la périodicité habituelle de 50 p. s., la fréquence des courants induits, ou fréquence du glissement, est de 2,5 p. s.; la période est de 0,4 s. C'est pendant une demi-période, soit 0,2 s seulement que le couple synchrone garde une valeur positive ou accélératrice. C'est pendant une durée aussi courte que ce couple devrait accélérer le rotor jusqu'au synchronisme, en se substituant de plus aux couples asynchrones qui disparaîtraient avec le glissement. Or, pour accélérer le rotor de 5 pour 100 de sa vitesse près du synchronisme, il faut lui fournir près de 10 pour 100 de l'énergie de force vive qu'il a en pleine vitesse; pour réaliser une telle accélération en 0,2 s, le couple nécessaire devrait être le même que pour réaliser tout le démarrage, depuis le repos jusqu'au synchronisme, en 2 s. On comprend l'impossibilité d'obtenir des balancements aussi rapides et aussi violents, surtout quand le couple résistant de pleine charge ne cesse pas de freiner le rotor.

Supposons maintenant que l'on ne veuille plus accrocher qu'une charge égale au cinquième de la pleine charge. Le glissement correspondant du même moteur sera de 1 pour 100. La fréquence de glissement étant de 0,5 p. s., le couple synchrone restera moteur pendant 1 s. Et cependant, il suffit maintenant d'accélérer le rotor de 1 pour 100 de sa vitesse près du synchronisme, ce qui correspond à lui donner 2 pour 100 de son énergie de force vive. Le couple nécessaire pour effectuer un tel travail en 1 s est le même que celui qui devrait effectuer tout le démarrage en 50 p. s. De telles accélérations ne sont pas impossibles sous l'effet des couples dont on peut disposer.

Cet exemple suffit à montrer quel est l'ordre de grandeur des charges qu'on peut pratiquement accrocher par le procédé habituellement employé pour les moteurs synchrones auto-démarrateurs. Encore faut-il remarquer que la phase finale d'accrochage, qui exige une telle puissance mécanique pour l'accélération et pour l'entraînement du couple résistant, absorbe au réseau polyphasé d'alimentation un courant très considérable. Et comme une oscillation ne peut pas se produire sans avoir été précédée de nombreuses autres d'amplitude moindre et constamment croissante, le réseau a été le siège d'une perturbation profonde, pendant laquelle il a dû fournir ou recevoir des courants excessifs, tantôt moteurs, tantôt retardateurs, suivant qu'un pôle continu suit de près un pôle de champ tournant qui est de nom contraire ou de même nom.

L'exemple précédent nous montre encore que, si on diminue 5 fois le glissement en vitesse de régime, il

suffit d'un couple 25 fois moindre pour provoquer les accélérations nécessaires à l'accrochage. Les possibilités d'accrochage s'accroissent comme l'inverse du carré du glissement correspondant à la marche asynchrone de régime. Pour améliorer les conditions d'accrochage avec entraînement de fortes charges, il faut donc diminuer jusqu'à une valeur assez basse le glissement asynchrone correspondant à ces charges.

III. Limites à la diminution du glissement asynchrone. — Le moyen ordinaire pour diminuer le glissement d'un moteur asynchrone consiste à diminuer la résistance de ses circuits induits. Il y a donc intérêt, pour faciliter l'accrochage, à munir le moteur d'une cage d'écurieil aussi peu résistante que possible, et c'est ce que l'on ne manque pas de faire lorsque le couple résistant doit être assez considérable aux approches du synchronisme. Mais le glissement peut être encore assez grand pour rendre l'accrochage difficile.

C'est alors qu'on ferme généralement avec utilité le circuit exciteur; les courants qui y sont induits aident par leur action à celle de la cage d'écurieil. L'expérience prouve cependant que, pour arriver au glissement minimum, il faut conserver dans le circuit d'alimentation une certaine résistance, qu'on règle empiriquement; la diminution de la résistance au delà de cette limite fait réaugmenter le glissement. Ce phénomène provient de ce que le circuit d'excitation constitue un circuit monophasé, et non plus polyphasé. Le flux alternatif qu'engendre son courant est assimilable, comme on l'a vu plus haut, à deux flux tournants dont l'un agit comme les flux tournants ordinaires des induits, mais dont l'autre tourne dans cet induit dans le sens inverse du premier et, par suite, balaie le stator avec la fréquence primaire diminuée de deux fois celle du glissement. Ce second flux, on l'a également vu plus haut, par son action sur le flux tournant du stator, crée un couple alternatif qui provoque des oscillations du rotor. Mais en outre, parce qu'il balaie les bobinages du stator avec une fréquence plus faible que la fréquence primaire, il induit dans ce circuit, fermé par le réseau, des courants ayant cette nouvelle fréquence; il agit en un mot sur le stator comme le fait un flux inducteur de moteur d'induit sur son induit, qu'il cherche à entraîner avec lui; un couple retardateur en résulte. Ce couple est retardateur depuis le moment où le rotor franchit la demi-vitesse synchrone; c'est lui qui tend à créer l'accrochage des rotors monophasés un peu au delà de cette demi-vitesse, phénomène dit phénomène de Goerges. Or, pour éviter cet accrochage, quand il a tendance à se produire, un moyen efficace consiste à augmenter alors la résistance du circuit monophasé induit.

Quoi qu'il en soit, on arrive aujourd'hui à accrocher fort bien, sans appel excessif du courant sur le réseau, des charges assez notables déjà et souvent suffisantes dans la pratique. Tel est le cas des moteurs entraînant des compresseurs, des pompes de toutes sortes. On en

pourrait faire autant pour quantité de transmissions mécaniques desquelles la plupart des machines commandées sont généralement débrayées au moment de la mise en route.

IV. Explication résumée des phénomènes d'accrochage. — Les considérations suivantes sont de nature à faire apparaître en un résumé rapide le mécanisme de l'accrochage tel qu'il vient d'être exposé.

Dans un moteur d'induction ainsi que dans un moteur synchrone, le couple moteur est engendré par l'action sur le champ tournant du stator d'un champ fourni par le rotor, tournant dans l'espace à la même vitesse que le premier et faisant avec lui un certain angle électrique qui dépend de la charge. Dans les deux espèces de moteurs, les champs tournants dus au stator sont d'espèce identique ; mais les champs fournis par les stators sont différents. Considéré par rapport au rotor lui-même, le champ dû au rotor d'un moteur d'induction est un champ polyphasé tournant dans ce rotor ; celui d'un rotor de moteur synchrone est un champ continu fixe dans ce rotor.

Quand on passe de la marche asynchrone à la marche synchrone, un champ polyphasé dû à des courants polyphasés doit donc céder la place à un champ continu dû à un courant continu. Pour opérer ce passage, il est nécessaire de superposer d'abord dans le rotor les deux sortes de champ. Le flux continu, imposé à la machine quand il y a encore du glissement, ajoute au couple de rotation constante un couple alternatif considérable, lequel imprime au rotor des oscillations. Malgré la diminution du couple asynchrone avec le glissement, ces oscillations peuvent arriver à sup-

primer ce glissement pendant un temps très court, quand la résistance mécanique à vaincre n'est pas excessive ; l'accrochage en résulte évidemment.

Il n'est plus nécessaire d'insister aujourd'hui sur les divers avantages qu'on trouve à remplacer un moteur d'induction par un moteur synchrone auto-démarrreur. Mais une particularité moins connue de l'emploi de tels moteurs, c'est qu'ils ne sont pas nécessairement plus coûteux que des moteurs synchrones du type ordinaire. Nous avons vu, en effet, qu'on pourrait très souvent se contenter de moteurs synchrones possédant une capacité de surcharge moindre que celle qu'on leur donne habituellement et que les moteurs exigeraient alors moins d'ampères-tours sur leur rotor, c'est-à-dire moins de cuivre. Grâce à l'économie ainsi réalisée, on peut améliorer les moteurs au point de vue du démarrage et de l'accrochage sans augmenter leur prix de revient final. Ce qui rend, en effet, si redoutables les décrochages des moteurs synchrones ordinaires, c'est que les accrochages sont très difficiles. Mais si l'accrochage devient possible et relativement rapide, on peut renoncer à la coûteuse précaution d'augmenter l'entrefer des moteurs, au prix d'un enroulement inducteur plus gros, avec la conséquence d'un plus grand dimensionnement général et d'une excitatrice plus puissante. Il n'est pas jusqu'au rendement même des moteurs qui ne s'en trouve augmenté. Trop de raisons militent donc en faveur de l'emploi des moteurs synchrones auto-démarrreurs et auto-synchroniseurs pour qu'il ne soit pas recommandable chaque fois qu'il est possible.

M. LECOCQ.

Note sur les usines hydroélectriques de la poudrerie du Pont-de-Buis

Au début de 1917, alors que la guerre semblait devoir se prolonger encore de longs mois et que la crise du charbon gênait la production des usines de guerre, on envisagea l'utilisation des chutes de la partie du canal de Nantes à Brest située un peu en amont de Châteaulin pour produire l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de la poudrerie du Pont-de-Buis. Les études commencèrent au printemps de 1917 et les travaux furent entrepris vers le milieu de l'année. En raison des retards considérables survenus dans la livraison de certaines parties du matériel, l'achèvement des usines n'a pu être réalisé qu'en mars 1920. Les usines fournissent actuellement à la poudrerie du Pont-de-Buis la force motrice et l'éclairage ; les fabrications de cet établissement étant très réduites, il y a des disponibilités d'énergie qui sont utilisées à la production d'une partie de la vapeur nécessaire aux fabrications. En établissant le bilan des dépenses, on trouve que la production du kilowatt-heure revient à 0,13 fr.

I. Situation des usines. — Le canal de Nantes à Brest, qui emprunte dans sa partie basse le cours sinueux de l'Aulne, est divisé en raison de la pente relativement forte de cette rivière en de nombreux biefs, assez courts (2 km environ), séparés par des barrages.

Il a été établi cinq usines hydroélectriques aux

écluses ci-après (d'amont en aval) : Lothey, Tresguidy, Le Guilliec, l'Aulne, Toularodo.

Comme le montre le plan d'ensemble (fig. 1), quatre des usines sont disposées presque en cercle autour de la cinquième (usine du Guilliec), ce qui a permis d'adopter la disposition générale suivante. Le courant alternatif, produit à 3 150 v., est transmis sous cette

tension à l'usine du Guilliec. (L'usine la plus éloignée de cette dernière est l'usine de Toularodo qui n'est qu'à 2 200 m). Le courant des cinq usines est élevé à 12 500 v dans un poste élévateur unique, situé au Guilliec et, de là, transporté sous cette tension par une ligne de 9 km à la Poudrerie du Pont-de-Buis, où il est retransformé à 3 150 v et amené aux bornes omnibus de la centrale thermique de la Poudrerie, dont

les alternateurs fonctionnent sous cette dernière tension.

II. Canaux de mise en charge et de fuite. —

Les cinq usines sont construites sur la rive gauche du canal, alors que les écluses et le chemin de halage sont sur la rive droite.

Le canal de prise et le canal de charge sont établis

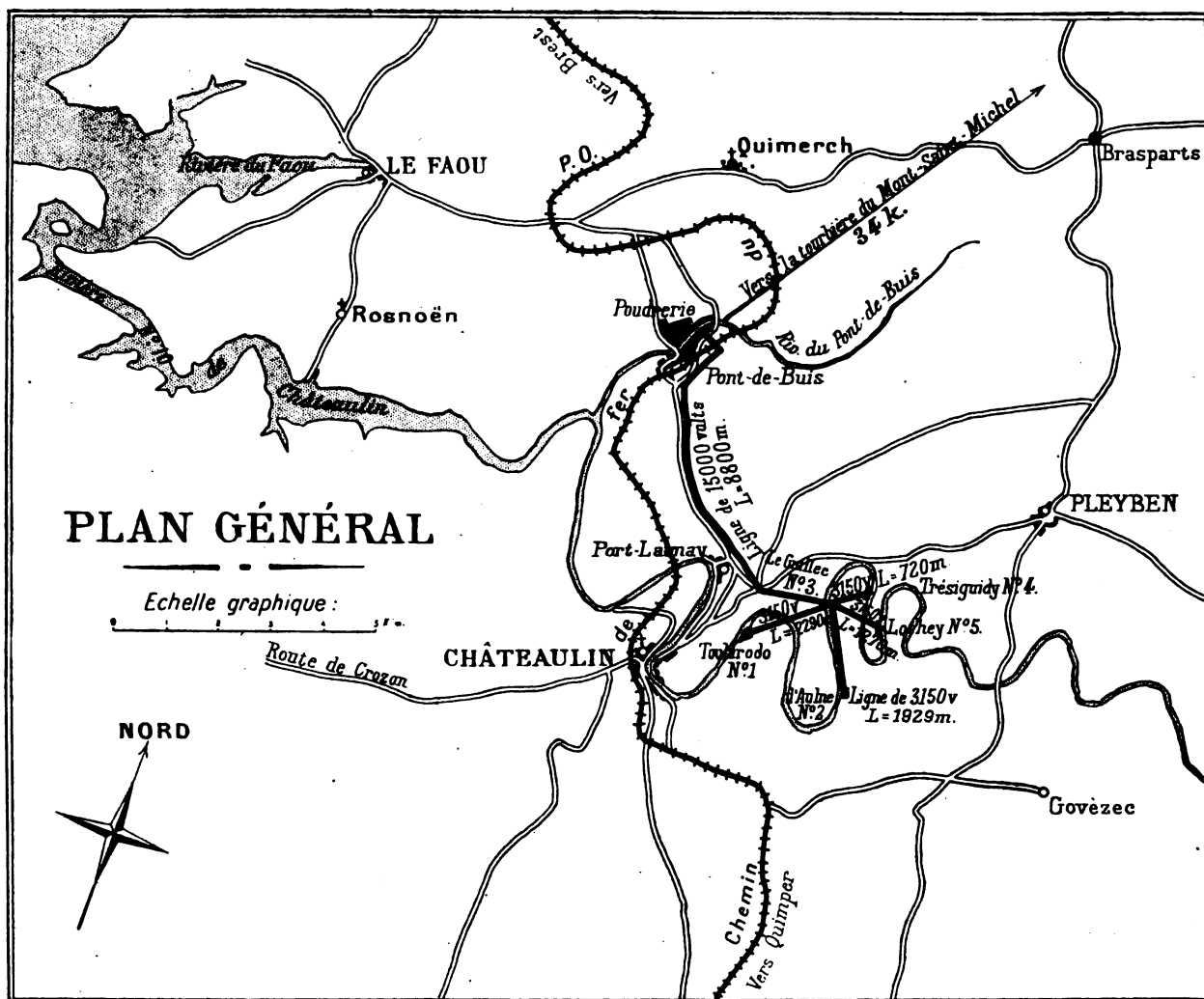


Fig. 1. — Plan général de l'installation des usines hydroélectriques du Pont-de-Buis.

de part et d'autre du déversoir avec des angles variables de 30° à 60° par rapport à l'axe de la rivière.

La vitesse de l'eau dans le canal de prise est de 0,50 m : s environ la sortie de l'eau des turbines à lieu par des orifices ménagés au-dessous de ces turbines et dont la section représentée par un cercle de 2,30 m à l'origine va en augmentant jusqu'à ce qu'elle devienne égale à celle du canal de fuite. Le point le plus bas de ces orifices est à 4,16 m au-dessous de la crête du déversoir.

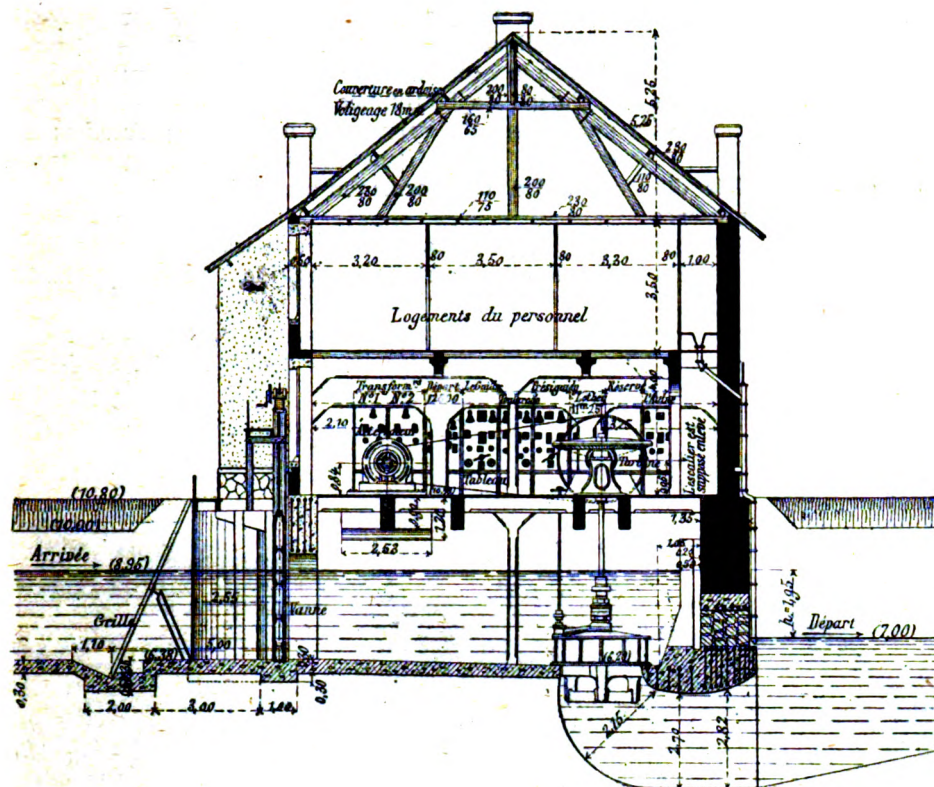
Une grille inclinée avec barreaux en fer plat de

60 × 4 mm², laissant des vides de 30 mm, est disposée à l'entrée de l'usine : les deux chambres à eau sont séparées par un mur de 1,25 m et peuvent être isolées par vannes placées près des grilles.

Des passerelles permettent le passage au-dessus des canaux de prise et de fuite.

Enfin, un canal de décharge assure l'évacuation des eaux des prairies situées en amont des usines sur la même rive.

Pour permettre l'exécution des travaux au-dessous du niveau des eaux, tant au cours de la construction



que pour les réparations ultérieures, les piles soutenant les passerelles et les murs des rives portent quatre séries de rainures verticales dans lesquelles peuvent être glissées des pièces de bois formant à l'amont comme à l'aval de l'usine deux séries de rideaux espacés de 0,60 m; l'intervalle est rempli de glaise afin de constituer un batardeau parfaitement étanche.

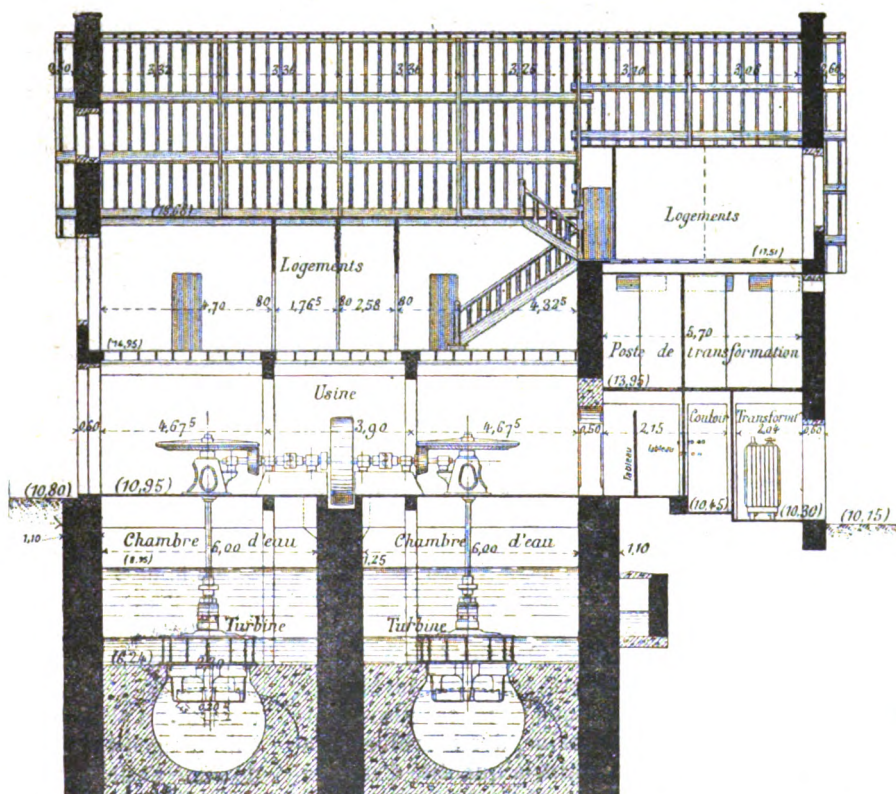
Le niveau de l'eau dans la rivière atteint rarement une hauteur de 1 m au-dessus du déversoir : d'ailleurs, en cas de crue importante, même nettement inférieure à 1 m, le service des Ponts et Chaussées fait lever les vannes de décharge dont sont pourvues les barrages : aussi a-t-on jugé suffisant de ne remonter les murs que jusqu'à 1 m au-dessus du déversoir.

Les passerelles sont à 1,80 m au-dessus du déversoir.

Les murs de rive droite des canaux ont été calculés pour résister à la poussée de l'eau en cas de réparations, lorsque ces canaux sont vides.

Le sol des chambres d'eau et des canaux de fuite est, pour toutes les usines, constitué par le roc : pour le canal de prise, le radier est constitué par une couche de béton de 25 à 30 cm.

III. Bâtiments. — Les usines sont construites en maçonnerie ordinaire, couverture en ardoise ; au rez-de-chaussée se trouvent le régulateur des turbines, les engrenages coniques et l'arbre horizontal, l'alternateur et le tableau ; le plancher portant ces appareils est en béton armé ; il a été calculé pour une charge superficielle de 1 000 kg/m² et est supporté par les murs



de rive de la dérivation et le mur séparant les deux chambres d'eau.

Au premier étage se trouvent les logements des gardiens. Le plancher de l'étage est supporté par des poutres en béton armé reposant sur les murs et sur des poteaux intermédiaires.

L'usine de Le Guilliec construite sur le modèle des autres est un peu plus grande à raison de la présence d'une salle des transformateurs (poste élévateur 3 150 à 12 500 V); elle comprend trois logements au lieu

de deux. Les figures 2 et 2 bis reproduisent la coupe longitudinale du bâtiment; la photographie de la figure 3 montre la façade aval de l'usine de Toulorado.

L'usine de Le Guilliec comporte au rez-de-chaussée une petite salle servant de magasin et d'atelier; une fosse est prévue dans cet atelier pour permettre la sortie d'un transformateur de sa cuve.

IV. Turbines. — Bien que les hauteurs de chute des cinq usines ne soient pas identiques et que la dif-

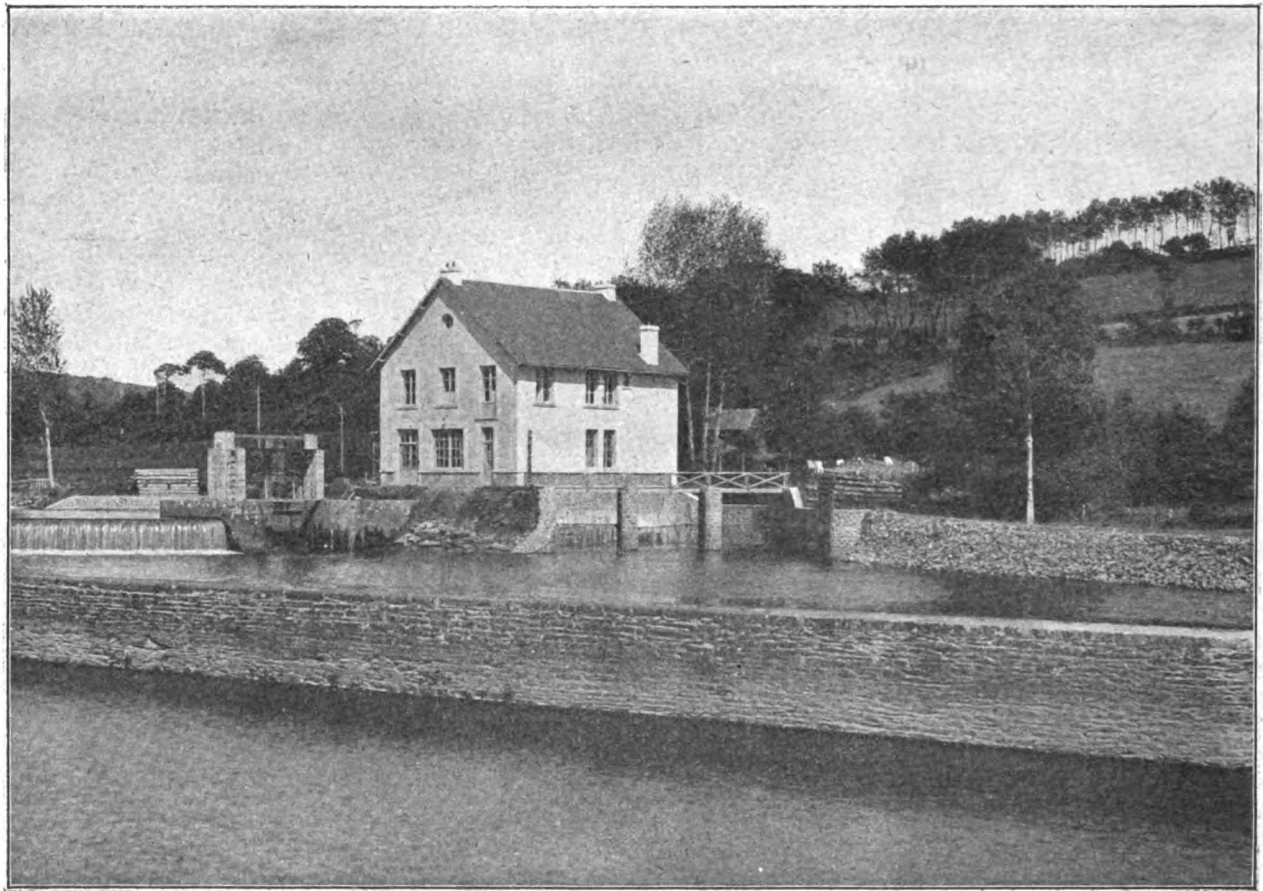


Fig. 3. — Photographie de l'usine de Toulorado, prise du côté aval.

férence entre la plus haute et la plus basse atteigne une vingtaine de centimètres, pour disposer d'un matériel interchangeable et profiter de délais de livraison plus courts, on a adopté pour toutes les usines des turbines identiques. En outre, le débit du canal étant très réduit pendant les mois d'été, pour permettre pendant cette période un fonctionnement des turbines à un rendement acceptable, on a réparti sur deux turbines la puissance maximum dont chaque chute est susceptible et on a installé, dans chaque usine, deux turbines attelées sur le même arbre; suivant la quantité d'eau disponible, on fait fonctionner les deux turbines ou une seule.

Les caractéristiques des turbines sont les suivantes : turbines hydrauliques « America » complètement noyées, fournies par MM. Sloan et C^e (10 turbines et 5 régulateurs de vitesse pour 375 000 fr); chute, 1,95 m; débit, 8 100 litres par seconde; vitesse, 52 t/mn; puissance sur l'arbre, 170 ch.

Les deux arbres verticaux sont portés par un support pivot à bain d'huile; ils commandent par engrenage conique un arbre horizontal tournant à 170 t/mn; deux embrayages à griffes permettent d'assurer l'embrayage de l'une et de l'autre turbine. L'arbre horizontal porte une poulie de 2,50 m de diamètre pour la commande par courroie de l'alternateur.

Un régulateur à pression d'huile type Piccard-Pictet permet d'agir sur le vannage des deux turbines de l'usine. Ce régulateur est garanti comme pouvant :

a) Maintenir normalement la vitesse à 1 pour 100 près ; dans le cas d'une variation de charge de 50 pour 100, la vitesse ne varie pas de plus de 3 pour 100 et la vitesse normale est reprise après deux secondes ;

b) Permettre le réglage à la main en marche à une vitesse comprise entre 0,95 et 1,05 fois la vitesse normale ;

c) Provoquer l'arrêt de turbines en cas de rupture de la courroie.

V. — Installations électriques. — ALTERNATEURS.

— Dans chaque usine est installé un alternateur Westinghouse commandé par une courroie s'enroulant sur la poulie de l'arbre de transmission des deux turbines. Les caractéristiques de ces alternateurs sont les suivantes : courant triphasé, 3 150 v, 50 p : s, 750 t : mn.

Chute de tension (entre la pleine charge et la marche à vide), le courant d'excitation et la vitesse étant maintenus constants, inférieure à 20 pour 100 ;

Rendements garantis, 0,92 à pleine charge et 0,885 à demi-charge pour $\cos \varphi = 0,8$.

L'excitatrice shunt est placée en bout d'arbre prévue pour pouvoir fonctionner avec une résistance de 2 ohms intercalée dans le circuit d'excitation.

Les alternateurs sont pourvus d'un limiteur de tension à force centrifuge fonctionnant par introduction d'une résistance dans le circuit d'excitation lorsque la vitesse dépasse une limite donnée ; cette résistance est court-circuitée en marche normale par un disjoncteur déclenché par un relais dont le circuit se ferme sous l'action du régulateur à force centrifuge.

Le prix d'achat d'un alternateur a été de 37 000 fr.

TRANSFORMATEURS. — La tension du courant à 3 150 v produit par les 5 usines est élevée à 12 500 v à l'usine de Le Guilliec à l'aide de deux transformateurs de 550 kv A, pour la transmission à la centrale thermique de la poudrerie, où deux transformateurs identiques permettent de ramener la tension à 3 150 v, tension des turbo-alternateurs de la poudrerie.

Ces transformateurs ont un rendement garanti de 96 à 98 pour 100 suivant la charge et le déphasage du courant ; ils possèdent au primaire et au secondaire, sur chaque phase, des isolateurs à triple sortie permettant d'obtenir à vide les tensions suivantes :

12 500 \pm 3 pour 100 et 3 150 \pm 3 pour 100.

LIGNES DE TRANSMISSION ET INSTALLATIONS TÉLÉPHONIQUES. —

1. *Lignes à 3 150 volts.* — Une ligne aérienne directe à 3 150 v relie, comme il a été indiqué, à l'usine du Guilliec, chacune des autres usines. Les longueurs de ces lignes sont approximativement

Toularodo au Guilliec..... 2 200 m en fil de 6 mm ;
L'Aulne au Guilliec..... 2 000 m en fil de 6 mm ;
Tresguidy au Guilliec..... 750 m en fil de 4 mm ;
Lothey au Guilliec..... 1 350 m en fil de 6 mm.

Les sections correspondent à une perte en ligne inférieure à 4 pour 100 avec une intensité de 55 A.

Ces lignes sont établies sur poteaux en bois, sauf pour les traversées du canal où on a prévu un poteau en béton armé sur chaque rive. La figure 4 représente le schéma unifilaire de tout l'ensemble du réseau.

2. *Ligne à 12 500 volts.* — La ligne à 12 500 v entre Le Guilliec et la Poudrerie (9 km) est également supportée

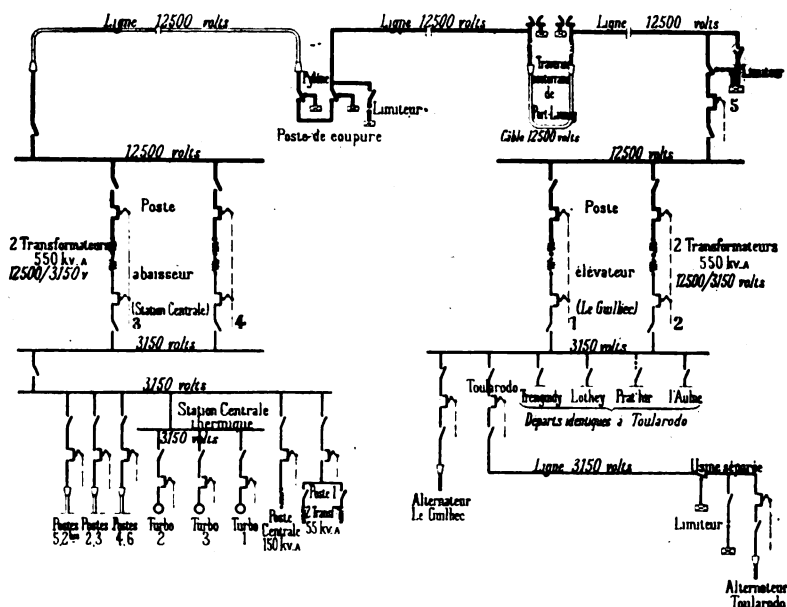


Fig. 4. — Schéma unifilaire de l'installation électrique du Pont-de-Buis.

par des poteaux bois de 12 m de hauteur sauf à la traversée du canal et des deux lignes de chemin de fer rencontrées (voie étroite de Châteaulin à Carhaix, chemin de fer P.-O. Châteaulin à Landerneau). La première traversée se fait en câble armé, enterré ; la seconde est aérienne et soutenue à ses extrémités par des pylônes en béton armé.

La protection de la ligne est assurée par un fil métallique fixé au sommet des poteaux et mis à la terre tous les 400 m.

À l'arrivée à la poudrerie, la ligne aboutit à un pylône d'extrémité et cesse d'être aérienne : le courant arrive à la centrale thermique par un câble armé enterré et qui traverse la Dourduff sur une passerelle.

Le pylône porte des sectionneurs et des appareils de protection contre les surtensions.

3. *Téléphones* — Un poste central, installé au Guilliec, comprend un tableau à 6 directions permettant d'établir toutes communications entre la centrale thermique de la poudrerie et les 5 usines hydroélectriques. Le poste du Guilliec est relié aux postes des quatre autres usines hydroélectriques et à celui de la centrale thermique par des lignes supportées par les poteaux des lignes à 3 150 v et à 12 500 v et croisées à intervalles réguliers pour éviter les effets d'induction.

Les dispositions suivantes ont été prises pour assurer la protection entre la haute tension.

1° Toutes les pièces extérieures des six postes téléphoniques sont métalliques et mises à la terre ainsi que l'appareil magnétique : le cordon des polyphones est recouvert d'une tresse métallique mise en communication avec la masse de l'appareil et avec la terre.

2° Chaque poste téléphonique est isolé de la ligne correspondante par un transformateur rapport 1/1 à grand rendement téléphonique, isolé pour une tension de 70 000 v.

3° Chaque poste comprend également un appareil de protection constitué par deux fusibles sectionneurs et un parafoudre bipolaire à intervalles réglables.

VI. Appareillage. Opérations de couplage et commandes à distance. — Le couplage d'un alternateur avec d'autres débitant déjà sur les barres du Guilliec peut se faire soit au Guilliec, soit à l'usine mise en marche. Dans le premier cas, les manœuvres nécessaires sont exécutées par le conducteur de l'usine à coupler sur indications téléphoniques qui lui sont données du Guilliec.

De même, le couplage de l'ensemble des usines du canal en fonctionnement avec les alternateurs de la poudrerie peut se faire, soit au Guilliec, soit à la centrale thermique de la poudrerie.

Les différents tableaux sont munis à cet effet des appareils habituels de protection. En outre, les appareils enregistreurs suivants sont installés au Guilliec :

Wattmètre enregistreur et voltmètre enregistreur sur la ligne à 12 500 v.

COMMANDES A DISTANCE. — On a envisagé, pour réduire le personnel de conduite des usines, de commander entièrement de l'usine du Guilliec les quatre autres usines.

Les opérations de commande comprennent :

a) Commande à distance par servo-moteur du régulateur des turbines (ouverture pour la mise en marche, réglage proprement dit, fermeture pour l'arrêt).

b) Réglage à distance de la tension des alternateurs.

Le premier problème ne présente pas de difficulté spéciale, mais exige quatre fils.

Pour le deuxième, on envisage de régler du Guilliec, soit le rhéostat d'excitation de l'excitatrice, soit de préférence les rhéostats de l'excitateur, ce qui exigerait quatre fils.

On envisage également l'installation d'appareils de régulation automatique de la tension, tels que l'appareil

Olmsted dont le principe est le suivant : on introduit dans le circuit d'excitation une résistance variable en mettant en court-circuit et en circuit une résistance fixe pendant des temps variables et très rapprochés.

Le rapport des temps de mise en circuit et hors circuit est réglé par un solénoïde qui attire plus ou moins une pièce métallique suivant la tension du courant.

Quoi qu'il en soit, cette question a été mise au point aux Etats-Unis, et présente un réel intérêt et les études continuent pour la résoudre aux usines du Pont de Buis.

VII. Prix de revient du kilowatt-heure. — Les dépenses d'installation des cinq usines et des lignes les reliant à la poudrerie ont atteint 3 012 000 fr. Ce prix correspond à 1 830 fr environ le cheval installé. Il est élevé, sans doute, mais il faut considérer qu'il s'applique à de petites usines et que les travaux ont été exécutés dans des circonstances difficiles et particulièrement onéreuses de la période 1917-1920.

Les dépenses et charges annuelles qui déterminent le prix de revient auquel on peut s'attendre à obtenir l'énergie électrique produite par ces usines, sont les suivantes :

1° *Personnel d'exploitation.* — Il faut en permanence, au Guilliec, un électricien qualifié ; dans chacune des quatre autres usines, où il n'y a à effectuer que des manœuvres simples, un manœuvre ; ce qui, pour les trois postes de huit heures de la journée, donne trois électriciens et douze manœuvres.

(La réalisation de la commande à distance permettrait de n'avoir dans les quatre usines autres que celle du Guilliec qu'un gardien).

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Les dépenses nécessitées par ce personnel peuvent être comptées annuellement à..... | 100 000 fr |
| 2° <i>Entretien et réparation du matériel, des bâtiments, lignes et canaux.</i> 150 000 fr (5 pour 100 de la dépense de premier établissement)..... | 150 000 |
| 3° <i>Frais généraux</i> , 20 pour 100 des dépenses précédentes..... | 50 000 |
| 4° <i>Intérêt à 6 pour 100 et amortissement en 30 ans du capital.</i> 3 012 000 \times 0,072..... | 217 000 |
| Total..... | 517 000 fr |

On peut espérer, étant donné le débit du canal, réaliser pendant sept mois de l'année une puissance de 1 500 ch et pendant les cinq autres mois (mai à octobre) une moyenne de 400 ch, ce qui donne une puissance moyenne annuelle de 1 000 ch environ sur l'arbre des turbines, correspondant à une puissance électrique aux barres de la poudrerie de 620 kw environ, et à une production annuelle de 4 millions de kilowatts-heure en comptant l'utilisation pendant six mille heures de cette puissance.

Le prix de revient du kilowatt-heure ressort ainsi à

$$\frac{517\ 000}{4\ 000\ 000} = 0,13 \text{ fr.}$$

Ce prix pourrait être légèrement diminué par la réduction de personnel résultant de la commande à distance des usines.

Ce prix de 0,13 fr est encore intéressant en raison du prix actuel du charbon.

Une étude des rivières canalisées montrerait la possibilité de réaliser, sur bien des sections, des installa-

tions analogues à celles que le Service des Poudres a réalisées sur la rivière l'Aulne. Ces installations, établies à une période plus favorable, pourraient, sans doute, être réalisées à des prix moins élevés, ce qui diminuerait d'autant le prix de revient du kilowatt-heure. Il y a là, semble-t-il, un parti intéressant à tirer, pour satisfaire à des besoins locaux, de petites chutes jusqu'à présent inutilisées, que les projets grandioses actuellement à l'étude ou en cours de réalisation ne doivent pas faire dédaigner.

J. REYVAL.

Revue, analyses et informations

Deux nouveaux dispositifs à résistance négative employés en radiotélégraphie (1).

Ces deux nouveaux dispositifs sont le négatron et le biotron.

I. LE NÉGATRON. — Le négatron est un tube à vide à quatre électrodes; de chaque côté du filament se trouvent deux anodes plates. Chaque anode est connectée par une batterie d'anode au filament, de telle sorte que les électrons émis par le filament, quand il est porté à l'incandescence, sont distribués à peu près également entre les deux anodes. Une électrode dite de contrôle qui peut être une grille plate est également disposée à l'intérieur du tube, entre le filament et une des anodes. Cette dernière anode est appelée « anode de diversion » et l'autre anode est appelée « anode principale ». En s'arrangeant pour créer une relation convenable entre l'émission d'électrons et les tensions d'anode, on peut rendre le total des courants d'anode approximativement égal à l'émission d'électrons. En d'autres termes, on obtient un effet de saturation. Dans ces conditions, si l'on rend la grille plus positive par rapport au filament, l'on détourne des électrons de l'anode principale vers l'anode de diversion, d'où une réduction du courant passant dans le circuit de l'anode principale. Dans le négatron, on préfère connecter l'anode principale à la grille de telle sorte que, lorsque la tension de l'anode principale est augmentée, le potentiel de grille croît; dans ces conditions, les électrons sont détournés

d'ordinaire), tandis que l'anode inférieure est l'anode de diversion. Entre le filament et l'anode de diversion se trouve une grille plate. La lampe est de forme tubulaire et possède quatre broches.

La figure 2 représente le schéma des connexions du négatron. Entre l'anode A₁ et le filament F se trouve une bat-

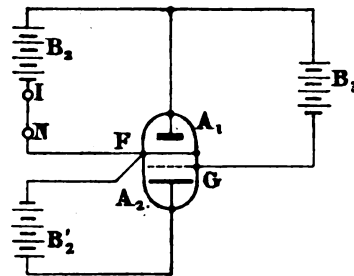


Fig. 2. — Circuit montrant l'action du négatron.

terie B₂ et deux bornes I et N. Entre ces bornes, on peut insérer un milliampèremètre. L'anode est connectée par une batterie B₃ à la grille G. Cette batterie sert à maintenir la grille à un potentiel convenable qui est, de préférence, légèrement négatif. Si G était connecté directement à A₁, G aurait un fort potentiel positif par rapport à F. Entre F et l'anode de diversion A₂ se trouve une seconde batterie B'₂. B₂ et B'₂ ont ordinairement une soixantaine de volts, mais leur valeur a assez peu d'importance pourvu que le courant fourni au filament F puisse être réglé pour produire l'effet de saturation.

Voyons maintenant ce qui se produit si nous augmentons la tension de B₃. On s'attendrait, normalement, à voir le courant vers A₁ s'accroître, mais, le potentiel de A₁ augmentant, celui de la grille G augmente également. Puisque G devient plus positif, le courant vers A₂ augmente, et cette augmentation pourrait être mesurée en connectant un second milliampèremètre dans le circuit de l'anode A₂. Cette méthode de variation du courant de A₂ est bien connue, puisqu'elle est employée dans les tubes ordinaires depuis que Lee de Forest y a introduit une grille. Le fait important à noter, cependant, est que, si le courant vers A₂ augmente, les électrons qui vont vers A₂ doivent provenir de ceux qui seraient allés vers l'anode A₁. Il y a donc une diversion



Fig. 1. — Photographie du négatron.

de l'anode principale et le courant de cette anode décroît. On obtient ainsi l'effet de résistance négative.

Théorie de l'action du négatron. — La figure 1 représente le négatron. L'anode supérieure est l'anode principale (petite

(1) J. SCOTT-TAGGART, *Radio-Review*, novembre 1921, t. II, p. 598-602. Résumé de conférences faites devant la section G de la British Association, à Edimbourg, 13 septembre 1921.

d'électrons. Si le courant de l'anode A_2 augmente, le courant de l'anode A_1 doit décroître, et réciproquement. De même, si le courant d'anode A_1 diminue, le courant de l'anode A_2 augmentera, et réciproquement. C'est là la condition essentielle de l'existence de la saturation dans le tube. Puisque, en augmentant le potentiel de l'anode principale A_1 , nous avons fait dévier le courant d'électrons vers l'anode A_2 , le courant de l'anode principale décroît. Il y a maintenant deux effets qui gouvernent le courant de l'anode A_1 . D'un côté l'accroissement du potentiel de l'anode A_1 tend à accroître le courant cette anode A_1 ; l'effet de diversion, au contraire, tend à réduire ce même courant. Ce dernier effet l'emporte de beaucoup sur le premier, et il en résulte une diminution du courant de l'anode principale consécutive à l'augmentation du potentiel de cette anode; la réciproque est vraie. De même une diminution du potentiel de l'anode principale rend la grille G plus négative et fait diminuer le courant vers A_2 ; le courant de cette anode A_1 augmente donc. On voit que le négatron agit bien comme résistance négative.

Le négatron ainsi décrit ne fonctionne que quand l'effet de saturation est obtenu. Pour cette raison, un rhéostat de chauffage est à recommander, et l'on règle le courant dans le filament jusqu'à ce que l'effet de résistance négative soit obtenu. Si le filament était trop brillant, il y aurait toujours une émission abondante d'électrons autour du filament, et une augmentation du courant de l'anode A_2 ; les électrons additionnels proviendraient de la source autour du filament et non plus de ceux qui seraient allés vers l'anode principale A_1 . Le courant de l'anode A_1 ne serait donc pas modifié et l'on n'obtiendrait aucun effet de résistance négative.

Caractéristiques du négatron. — L'explication que nous venons de donner se retrouve dans les courbes caractéris-

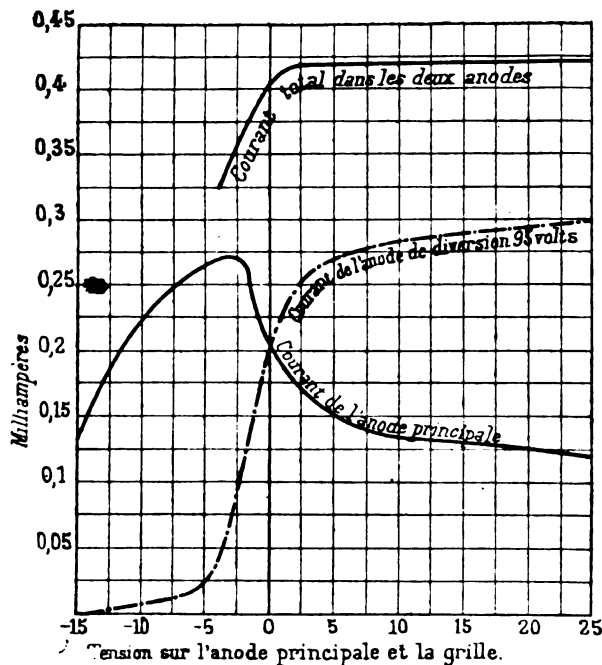


Fig. 3. — Courbes caractéristiques d'un négatron.

tiques du négatron, dont nous donnons trois spécimens (fig. 3.) La ligne inférieure en traits continus représente le courant de l'anode principale. La ligne supérieure en traits continus représente la somme des deux courants anodiques. La ligne

en pointillé représente le courant de l'anode de diversion. Puisque la tension de grille est toujours voisine de zéro, le courant de grille est presque nul. On maintient généralement la grille à un potentiel légèrement négatif, de sorte que le courant de grille est nul. S'il n'en était pas ainsi, le courant de grille s'ajouterait au courant de l'anode principale et la pente de la résistance négative serait moins forte.

Les courbes de la figure 3 représentent clairement l'effet de diversion que le négatron utilise. La courbe supérieure montre que l'effet de résistance négative est obtenu tant que la lampe est saturée. Puisque le courant total reste constant et que le courant de l'anode de diversion augmente (parce que le potentiel de l'électrode de contrôle augmente), le courant anodique principal doit nécessairement décroître, ce que l'on voit sur la courbe du milieu qui descend vers l'axe des abscisses. La courbe n'est évidemment utilisée que dans cette portion descendante, et les oscillations ne se produiront que lorsque l'anode principale et la grille auront des potentiels convenables. En pratique, avons-nous dit, le potentiel de grille est légèrement négatif et il n'y a pas de réglage de la tension de grille à faire.

Applications du négatron. — Les applications du négatron sont très nombreuses et varient autant que celles du dynatron (dont le principe est, on le sait, essentiellement différent). Son usage principal est la génération d'oscillations entretenues pour la transmission ou la réception des ondes entretenues. Il peut servir à la réception des ondes amorties, en réduisant l'effet de résistance positive. Comme oscillateur local, il est très commode, car il oscille sur toutes les longueurs d'onde comprises entre 600 et 20 000 m (intervalle commercial courant), sans qu'il soit besoin de systèmes de commutation compliqués. La disposition des circuits la plus commode est représentée figure 4; elle est la même que celle

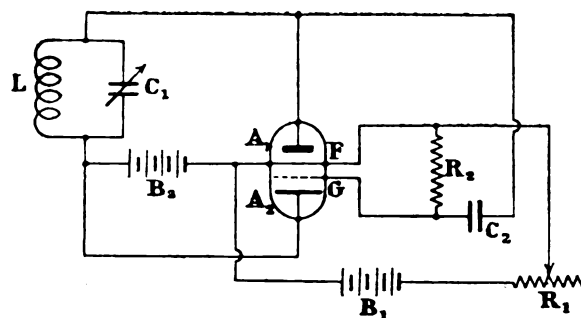


Fig. 4. — Autre dispositif de montage du négatron.

de la figure 2, sauf que les deux batteries sont remplacées par une seule B_2 d'environ 60 v. L'anode principale est connectée par un condensateur de grille C_2 à la grille G , une résistance R_2 étant connectée à travers la grille et le filament. Ce condensateur de grille remplace simplement la batterie B_3 de la figure 2, afin d'éviter un fort potentiel positif de grille. Le filament F est chauffé par le courant d'une batterie d'accumulateurs de 6 v B_1 , par l'intermédiaire du rhéostat R_1 d'environ 7 ohms de résistance. Ce rhéostat est réglé jusqu'à ce que des oscillations entretenues soient produites dans le circuit oscillant LC_1 . On remarquera que le circuit de l'anode de diversion ne sert que comme chemin de dérivation pour les électrons. Le courant de l'anode A_2 ne produit aucun effet sur le circuit oscillant LC_1 . Si cette anode était déconnectée, le circuit n'oscillerait évidemment pas, même s'il y avait beaucoup d'électrons, parce que les

phases des potentiels de grille seraient exactement opposées à celles nécessaires pour produire les oscillations.

Avant de terminer avec le négatron, il est intéressant de démontrer, au moyen de courbes, le fait que le négatron n'oscille que pour un intervalle donné de valeurs du courant de chauffage. La figure 5 représente une série de courbes

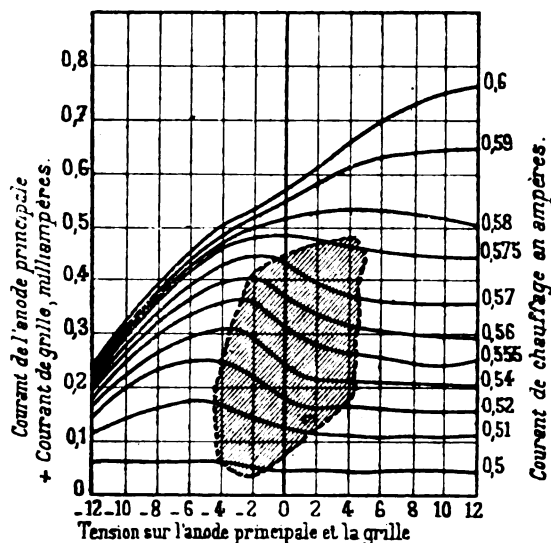


Fig. 5. — Série de courbes caractéristiques de l'anode principal en fonction du courant de filament.

caractéristiques donnant les valeurs du courant de l'anode principale pour des valeurs différentes du courant de filament. L'effet de résistance négative disparaît complètement quand le courant de chauffage est inférieur à 0,575 A. De même, il disparaît pour une autre raison quand le courant de chauffage est très faible. Un circuit oscillant n'oscillera que si les conditions sont telles que l'on vienne à entrer dans la portion hachurée; en pratique, on ne rencontrera aucune difficulté, malgré l'intervalle limité de valeurs du courant de chauffage.

H. LE BIOTRON. — Le biotron emploie deux lampes ordinaires à trois électrodes, l'une servant comme conducteur du courant et l'autre, comme inverseur de phase. La lampe V_1 (fig. 6) est la conductrice de courant de la batterie B_2 .

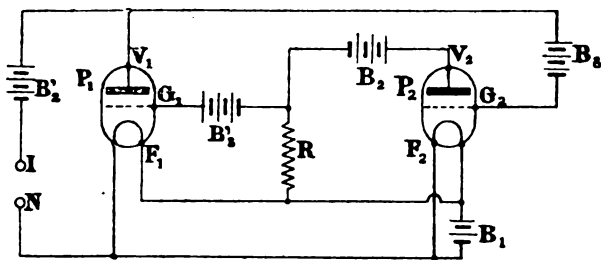


Fig. 6. — Schéma du biotron.

Supposons qu'un ampèremètre soit inséré entre les bornes I et N. Si la force électromotrice de B_2 croît, on pourrait s'imaginer que le courant anodique va croître également. On obtient cependant l'effet opposé, en s'arrangeant pour que

l'augmentation de la tension anodique de V_1 augmente le potentiel de grille de la lampe V_2 . Le potentiel normal de cette grille est maintenu près du zéro par une batterie B_3 . Dans le circuit anodique de V_2 se trouve une batterie d'onde B_2 et une résistance R . Quand la grille de V_2 devient positive, le courant d'anode à travers R augmente, rendant la grille de V_1 de plus en plus positive. La batterie B_3 maintient la grille de V_1 à un potentiel normal convenable voisin de zéro. En augmentant B_2 , il se produit donc deux effets : 1° une tendance à produire une augmentation du courant d'anode en augmentant le potentiel de cette anode ; 2° une tendance à diminuer le courant d'anode, en rendant la grille plus négative. Ce dernier effet l'emporte de beaucoup sur le premier, de sorte que le courant d'anode décroît et que l'on obtient une caractéristique à résistance négative. Si la tension de B_2 diminue, on obtient l'effet inverse. On insère normalement, entre I et N, le circuit dont on veut faire diminuer la résistance. Ce dispositif statique à résistance négative peut produire une caractéristique descendante très inclinée et à peu près droite. Le dispositif représenté est parfaitement stable. Il n'y a pas d'effet rétroactif, comme dans les dispositifs employant deux résistances d'anode.

G. M.

Revue des méthodes employées pour la recherche des isolateurs défectueux sur une ligne en service ⁽¹⁾.

Sur les lignes actuelles à haute tension, on constate que les isolateurs sont souvent détériorés. Les causes en sont nombreuses et peuvent être d'ordre électrique ou simplement mécanique.

Les surtensions et les coups de foudre percent l'isolant que l'on n'a pas prévu assez résistant. Les effluves électriques agissent aussi sur certaines porcelaines de mauvaise qualité et les désagrègent. Il semble que l'on doit exiger que les isolateurs soient faits d'une pâte homogène, bien cuite et peu poreuse, pour obtenir la plus longue durée de service. La porosité s'apprécie de la manière suivante : un fragment de l'échantillon à essayer est plongé dans une solution de fuchsine dans l'alcool méthylique et soumis à une pression d'environ 14 atmosphères. On vérifie ensuite si la couleur n'a pas pénétré trop profondément dans la porcelaine. Un autre procédé plus simple, mais encore suffisant, consiste à étendre sur une cassure fraîche une solution de 1 g de fuchsine dans 100 g d'alcool méthylique, puis à laver avec cet alcool pur. Les traces de la coloration doivent presque complètement disparaître.

Lorsqu'un isolateur, mis en service sur un réseau, est détérioré, il est très difficile de déterminer les causes de l'accident, car le court-circuit qui en résulte ne laisse subsister aucune trace. Il faudrait donc visiter régulièrement les isolateurs et vérifier surtout si aucune fissure ne s'est produite. Différents procédés ont été proposés. La porcelaine blanche peut être recouverte d'un vernis vert foncé ou brun. Le choc, en abîmant la matière isolante, enlève la couche colorée et accuse l'accident. On peut aussi envelopper l'isolateur dans un chapeau de celluloid coloré qui prend feu lors du court-circuit.

Mais il existe des procédés plus sûrs pour découvrir sur une ligne en service les isolateurs défectueux. Celui de Crawford, réalisé par Flaherty, consiste à brancher un écouteur téléphonique entre le support de l'isolateur et la

⁽¹⁾ W. WEICKER, *Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen*, 24 août 1921, t. XVI, p. 189-194, 11 fig., 1 phot.

terre et à former ainsi une dérivation sur le pylône. Si l'isolateur est intact, le courant qui parcourt le circuit ainsi formé ne dépend que des effets de capacité et fait entendre un son pur. Si, au contraire, l'isolateur est endommagé, l'écouteur donne un grésillement caractéristique. Cette méthode a été utilisée en Amérique et a donné quelquefois de bons résultats, mais elle est difficilement applicable lorsque les pylônes sont métalliques. Il faut alors employer un écouteur de très faible résistance. Un grand perfectionnement a été apporté à ce procédé par le « détecteur de courants de fuite » de l'ingénieur Werner Skirl. Son avantage est de n'avoir pas à prendre de contact avec les ferrures de l'isolateur. L'observateur chausse deux semelles métalliques reliées entre elles par un écouteur. En se dirigeant vers le pylône, il « écoute » le courant créé par la différence de potentiel existant entre ses deux pieds (1).

Une autre méthode, celle de Johnson, convient surtout aux isolateurs à chaîne. On sait que chaque élément possède une capacité par rapport à la terre et une capacité par rapport aux autres éléments. Il s'ensuit que la tension totale de la ligne se répartit entre eux à peu près dans le même rapport que le rapport des capacités. Lorsque l'un d'eux est détérioré, il est plus ou moins court-circuité et il n'existe plus une différence de potentiel aussi grande entre les deux éléments voisins de l'élément défectueux. Le procédé consiste à vérifier si une tension normale existe bien entre deux maillons consécutifs, au moyen d'une fourche métallique portée au bout d'une tige isolante. Pour les isolateurs à tige, une modification doit être apportée. On mesure la différence de potentiel entre le conducteur et la ferrure au moyen d'un éclateur à boules dont on peut facilement régler et mesurer la distance d'éclatement par un dispositif particulier.

Il existe d'autres méthodes d'essai, applicables aux isolateurs qui ne sont pas encore montés sur leurs supports. Avec un mégohmmètre que l'on alimente à 1 000 v, on peut facilement mesurer des résistances de 5 000 mégohms. On a jugé qu'il existe les relations suivantes entre les résistances et les tensions de claquage de l'isolateur :

| | | | |
|-------------|---------|--------------|----------|
| Plus de 350 | mégohms | pour environ | 90 000 v |
| 100 | id | | 70 000 v |
| 25 | id | | 50 000 v |
| 10 | id | | 38 000 v |
| 0,3 | id | | 12 000 v |

Cet essai de résistance, fait après avoir rempli d'eau les rigoles de l'isolateur, donne une précieuse indication :

On peut aussi soumettre l'isolateur à la tension d'essai, soit de fréquence normale, soit de haute fréquence. Pour obtenir la tension voulue en fréquence normale, on se sert d'un transformateur élévateur. En Amérique, on semble avoir préféré l'épreuve en haute fréquence et on réalise plusieurs montages différents. L'isolateur est introduit dans un circuit oscillant où un éclateur réglable joue le rôle d'interrupteur ; quelquefois il est monté sur le secondaire d'un transformateur Tesla sans fer, dont le primaire fait partie du circuit oscillant. Le procédé du redresseur Delon est également employé pour un essai en courant continu haute tension ainsi que celui du kénotron.

La mauvaise qualité de la porcelaine force les Américains à essayer fréquemment leurs lignes et, d'après une enquête auprès des exploitants, la méthode du mégohmmètre serait utilisée par 13 d'entre eux ; celle de la fourche, par 9 ; celle du kénotron, par 3 ; celle de l'écouteur téléphonique, par 2 et celle du circuit oscillant, par un seul. L'épreuve au

mégohmmètre est faite deux fois par an par un seul exploitant, une fois seulement par les autres. Lorsqu'une ligne est accidentellement mise à la terre, on peut très rapidement préciser le poteau où s'est produit le court-circuit. Sur un réseau de 175 km, on détermine le lieu de l'accident à un ou deux poteaux près : il suffit de réaliser avec des résistances auxiliaires une sorte de pont de Wheatstone.

Une surveillance consciencieuse de l'état des isolateurs et l'utilisation des appareils de sécurité permettront de réduire aux seuls coups de foudre inévitables les accidents de l'exploitation des réseaux. — B. H.

L'exportation de l'énergie électrique (1).

Sous ce titre l'auteur aborde une question de politique suisse, question qui a déjà fait l'objet d'une analyse dans la « R. G. E. » du 12 février 1921, sous le titre « Houille blanche et énergie perdue du point de vue suisse ».

Un certain public suisse envisage en effet la situation électrique de ce pays de la façon suivante : Pourquoi la Suisse fait-elle des sacrifices pour restreindre sa consommation d'énergie électrique nationale et acheter cher du charbon étranger, alors qu'elle cède à l'étranger une partie de sa production d'énergie électrique ? Ne devrait-elle pas utiliser toute son énergie électrique nationale, et ainsi n'économiserait-elle pas sur le charbon ?

L'auteur montre l'inexactitude de ce raisonnement, en parlant calories au lieu de kilowatts-heure, en prenant comme point de comparaison l'utilisation, et non la production.

Si la Suisse gardait pour sa consommation toute son énergie électrique nationale elle l'utiliserait en partie à produire de la vapeur de chauffage, et à chauffer des fourneaux de cuisine et des radiateurs d'appartement, et partant, elle l'utiliserait d'une façon onéreuse, car ces modes de production de la chaleur sont dotés encore de mauvais rendement. Or, précisément, c'est cette énergie électrique qui serait consommée journellement en masse, que la Suisse vend à bon compte à l'étranger. Elle garde pour ses nationaux des quantités immenses d'énergie électrique de nuit à bas prix, encore très mal et peu utilisée. Et, avec la vente de cette énergie hors Suisse, elle peut acheter sous forme de houille noire plus de calories qu'elle n'en aurait produites avec sa houille blanche exportée.

Avec les capitaux constitués, grâce à l'argent étranger venu en Suisse pour acheter son énergie électrique, la Suisse pourra construire des réservoirs, emmagasiner son énergie d'été, et vendre au triple l'hiver l'énergie du mois de juin. Elle pourra aménager de nouvelles centrales, et produire davantage.

Voici, d'autre part un résumé d'une question analogue publiée dans le numéro 6 du même périodique.

L'industrie suisse du carbure de calcium est de plus en plus distancée par la concurrence allemande. Or la Suisse exporte de l'énergie électrique aux usines allemandes de carbure de la Lonza à Waldshut. Les carburiers suisses protestent et demandent que l'énergie exportée soit majorée d'une prime d'exportation, et qu'elle ne puisse servir à concurrencer une industrie suisse.

L'auteur est d'avis que la majoration du prix de vente à l'exportation est possible. Les Allemands majoreraient bien de 5 à 600 pour 100 le charbon qu'ils vendent aux Suisses. La loi fédérale donne au Conseil fédéral presque pleins pouvoirs pour la décision.

Mais, imposer à l'acheteur d'énergie l'usage qu'il en doit faire est inadmissible, internationalement. — L. C.

(1) O. GANGUILLET, ingénieur, Zurich, *Bulletin de l'Association suisse des électriciens*, mars et juin 1921, t. XII, nos 3 et 6, p. 53-55 et 159-160.

(1) *R. G. E.*, 26 novembre 1921, t. X, p. 776.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Les grands travaux : La percée des Vosges

Le Congrès de Colmar

L'auteur a tenu à compléter l'étude, publiée sous sa signature dans la « Revue générale de l'Électricité » du 5 novembre 1921, p. 645. Les lecteurs trouveront ci-après la carte des nouveaux tracés, l'indication des dépenses envisagées pour leur réalisation, des appréciations complémentaires et le texte des vœux qui ont clôturé le Congrès présidé par le ministre des Travaux publics.

Notre précédente étude pourrait être jugée insuffisante, si nous ne la complétons, aujourd'hui que

nous possédons la documentation intégrale, issue du récent Congrès de Colmar, présidé par le ministre

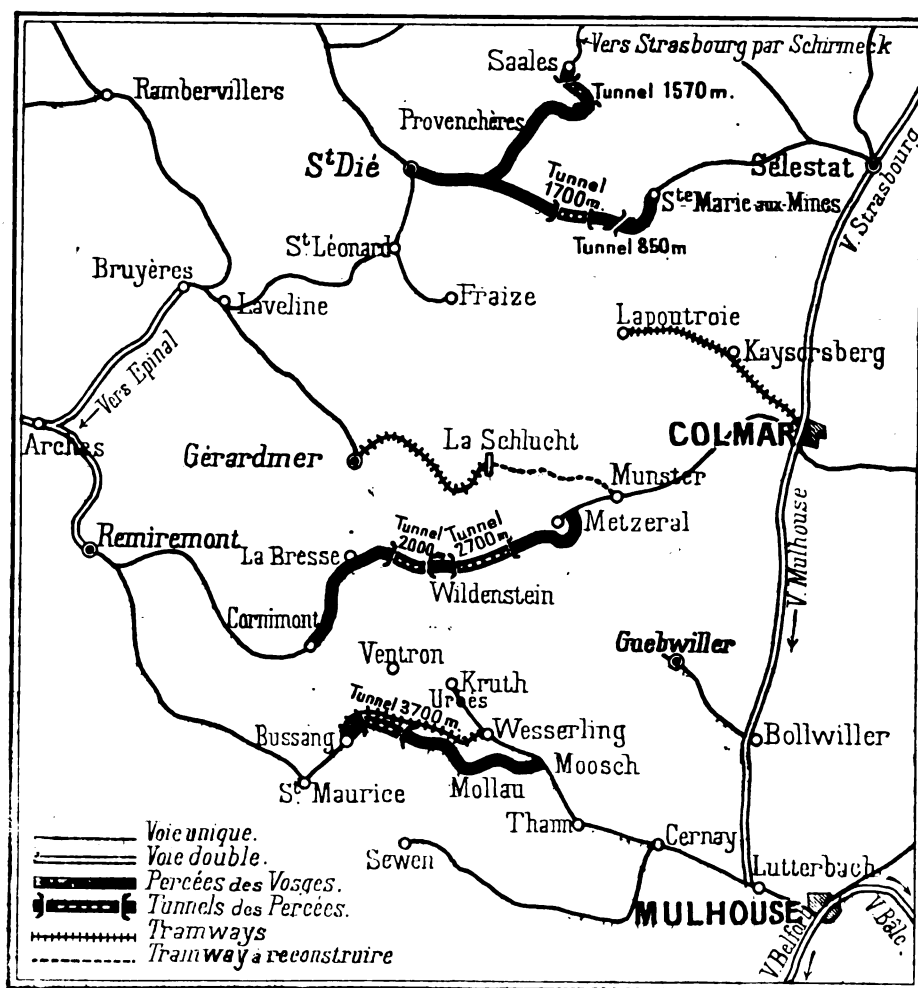


Fig. 1.

des Travaux publics assisté du commissaire général de la République française en Alsace et Lorraine.

La carte, publiée ci-dessus⁽¹⁾, permettra de se rendre

⁽¹⁾ La Revue d'Alsace et de Lorraine a bien voulu autoriser notre collaborateur à reproduire la carte et les tableaux

compte que les nouveaux tracés diffèrent quelque peu des précédents, et qu'ils ont l'avantage de présenter une solution pratique à la fois du problème tech-

dressés par elle ; nous sommes heureux de pouvoir l'en remercier.

nique et du problème financier, si aigu à résoudre.

En effet, les causes du retard apporté jusqu'ici à l'exécution aussi bien des deux premières percées (nord et sud) déclarées d'utilité publique, que des deux percées médianes, déclarées d'égale urgence par le Conseil consultatif, proviennent essentiellement de difficultés de trésorerie.

Comme le montre le tableau, ci-dessous, les évaluations, aux prix de 1912, faisaient ressortir une dépense totale de 108 millions de francs pour les trois projets Saint-Dié-Sainte-Marie-aux-Mines, Cornimont-La Bresse-Metzerol et Saint-Maurice-Wesserling,

tandis qu'avec les nouveaux tracés, qui suppriment 8,5 km de tunnels (soit près de 50 pour 100), en ramenant uniformément à 33 mm : m les déclivités prévues de 22 à 25 mm : m pour les deux percées médianes et à 15,5 la déclivité de 11 mm : m, prévue pour le tracé initial Saint-Maurice-Wesserling, la dépense totale pour les trois percées ne serait plus que de 59 millions de francs, soit une économie de 49 millions de francs, ce qui équivaldrait à une réduction de plus de 50 pour 100 sur les dépenses des tracés antérieurement projetés (qu'a reproduits, en les complétant déjà pour partie des nouveaux, la carte annexée à notre étude précédente).

| PERCÉE DES VOSGES | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------|-------------|--------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| DÉSIGNATION DES TRACÉS | DÉCLIVITÉS MAXIMA EN MILLIMÈTRES PAR MÈTRE | | LONGUEUR A CONSTRUIRE en kilomètres | | LONGUEUR DES TUNNELS en mètres | | ÉVALUATION DE LA DÉPENSE TOTALE AUX PRIX D'AVANT-GUERRE en francs | |
| | projet 1921 | projet 1912 | projet 1921 | projet 1912 | projet 1921 | projet 1912 | projet 1921 | projet 1912 |
| | | | | | | | | |
| Saint-Dié à Saales et rectification de la ligne de Saales à Molsheim..... | 15 | 15 | | 24,300 | | 1 570 | | 17 000 000 |
| Saint-Dié à Sainte-Marie-aux-Mines... | 33 | 22 | 17,300 | 17 | 1 700 850 | 5 500 | 12 500 000 | 25 000 000 |
| Cornimont à Metzerol par La Bresse... | 33 | 25 | 23 | 27 | 2 000 2 700 | 5 800 | 22 500 000 | 27 500 000 |
| St-Maurice à Wesserling (projet 1921) Bussang à la ligne de Mulhouse (projet 1921)..... | 15,5 | 11 | 17 | 15,100 | 3 700 | 8 260 | 24 000 000 | 55 000 000 |

N.B. — Les évaluations sont données pour une ligne à une voie (des tunnels étant prévus pour la double voie), sauf en ce qui concerne le projet de Bussang à la ligne de Mulhouse, pour lequel les dépenses ont été calculées pour la construction à deux voies.

Le Congrès de Colmar a été caractérisé par l'opposition des projets du général Bourgeois, sénateur, rapporteur, et de M. Mieg, délégué de la Chambre de Commerce de Mulhouse. Nous regrettons de ne pouvoir les reproduire ici.

Le texte proposé par le général Bourgeois, après une longue, intéressante et parfois passionnée discussion, a été finalement adopté par 89 voix contre 61, acquises au projet de M. Mieg.

Nous remarquons que les représentants de la Chambre de Commerce et de la Société industrielle de Mulhouse ont déclaré considérer ce vote comme inexistant, la majorité toute relative obtenue ayant dépendu non pas d'un vote contrôlé et mandaté, mais du plus ou moins grand nombre de personnes présentes au moment de la mise aux voix. D'autre part, les décisions du Congrès devaient être prises à l'unanimité. Toutefois, l'essentiel est d'avoir précisé dans les vœux émis, que les quatre percées étaient solidaires et d'avoir invité les représentants des deux versants des Vosges à la Chambre et au Sénat à poursuivre activement la réalisation des quatre percées.

Le Congrès se termina sur la nouvelle lecture de ce

vœu général, qui fut salué d'acclamations unanimes.

M. Mieg, appuyé par M. Jourdain, ancien ministre du Travail, avait proposé comme sanction de son rapport, appuyé par un peu plus du tiers des voix (sous les réserves ci-dessus), les résolutions suivantes :

1° Que la ligne de Saint-Dié à Saales, déclarée d'utilité publique par la loi du 28 mars 1920, soit achevée le plus rapidement possible ;

2° Que la ligne Saint-Maurice à Wesserling, déclarée d'utilité publique, par la loi précitée, soit immédiatement concédée et mise en œuvre avec le tunnel de base de 8,208 km et les rampes de 10 mm : m ;

3° Qu'une loi nouvelle déclare d'utilité publique les deux percées médianes de Cornimont-La-Bresse-Metzerol et Saint-Dié-Sainte-Marie, chacune suivant un tracé en rapport avec les services qu'elle est appelée à rendre.

Quant aux vœux finalement adoptés par la majorité du Congrès, en voici le texte :

1° Le Congrès remercie M. le ministre des Travaux publics, le Gouvernement, les représentants autorisés des régions intéressées et le bureau permanent de la Commission de la Percée des Vosges, des efforts qu'ils

ont faits pour activer et mener à bonne fin la question de la Percée des Vosges ;

2° Le Congrès émet le vœu que la Direction des Chemins de fer veuille bien procéder avec activité à l'adoption des tracés des lignes projetées, aux enquêtes « de comodo et incommodo », de façon à ce que les projets de loi de déclaration d'utilité publique des deux lignes : Cornimont-La-Bresse-Metzerol et Saint-Dié-Sainte-Marie, puissent être présentés dans le plus bref délai possible au Parlement ;

3° Le Congrès émet le vœu que le tracé de la ligne de grand trafic international Saint-Maurice-Wesserling soit exécuté tel que l'a décidé la loi du 28 mars 1920 ;

4° Le Congrès émet le vœu que les travaux de la ligne Saint-Dié-Saales soient activement poussés ;

5° Le Congrès émet le vœu que la prochaine loi de déclaration d'utilité publique qui complètera celle du 28 mars 1920 rappelle que les quatre percées sont solidaires ;

6° Le Congrès invite les représentants des deux versants des Vosges à la Chambre des Députés et au Sénat, à poursuivre activement la réalisation des percées des Vosges.

Quels enseignements peut-on retirer du Congrès qui, plus qu'une réunion d'intéressés, a revêtu le caractère d'un organisme officiel ?

Le directeur de la « Revue d'Alsace et de Lorraine », M. Lucien Coquet, rapporteur général du Comité de la Percée des Vosges, qui a bien voulu se mettre à notre disposition pour nous documenter de la façon la plus complète, les envisage ainsi :

« Un enseignement lumineux ressort de ce Congrès. Ou bien, le renoncement aux grands tunnels et aux rampes à grands rendements qui a été demandé aux régions intéressées et qui a été refusé par Mulhouse, est impérieusement exigé par l'état de nos finances. C'est vraiment un ultimatum et tout le monde doit s'incliner. Ou bien, la nécessité économique et militaire de construire des transvosiens à grand rendement est telle que le Parlement ne doit pas hésiter à inscrire au budget les quelques centaines de millions de francs indispensables qui, répartis sur dix à quinze ans d'utilisation, ne représentent d'ailleurs qu'une trentaine de millions de francs jusqu'en 1933.

« Voilà ce qu'il s'agit de faire connaître au public, car les finances de l'Etat c'est nous, et si nous, les contribuables de France, aussi bien ceux des régions libérées non encore relevées des ruines de la guerre que les contribuables des régions prospères du Midi, de l'Ouest et du Centre, nous venons dire, par l'organe de nos sénateurs et de nos députés : « L'Alsace demande cette imposition financière parce qu'elle est indispensable, non seulement à la fusion économique, politique et sociale de plus en plus intense de nos provinces retrouvées avec toutes les autres provinces de France »,

alors la cause est gagnée. Au surplus, diront encore les Alsaciens, l'Allemagne nous doit assez d'argent. Arrangeons-nous, une bonne fois, pour la faire payer.

» Les grands industriels de Mulhouse, habitués à manier d'importants budgets font, en outre, ressortir que les 30 à 35 millions de francs de crédits estimés nécessaires pendant une dizaine d'années, diminueront au fur et à mesure de l'abaissement certain des prix dans l'avenir. Ils font aussi remarquer que les économies réalisées au début par la construction de moins grands tunnels ne seraient qu'apparentes, car l'élévation des rampes qui en serait la conséquence aurait pour effet d'augmenter considérablement les frais d'exploitation. On sait ce qu'ont coûté pendant la guerre les transports de troupes et le ravitaillement par le mont Cenis, construit à pente trop élevée. Enfin, ils ajoutent que l'électrification prévue des percées des Vosges n'est intéressante qu'en temps de paix, car une ligne électrique à proximité de l'ennemi est une installation trop délicate, dont ne sauraient se contenter les militaires. Il faut que les transvosiens puissent marcher, en temps de guerre, à vapeur et à plein rendement.

» Pour conclure : Ne croyez-vous pas que si l'Alsace unanime venait dire à Paris : « Nous connaissons, mieux que personne, les Allemands. Une seule chose leur inspire de la crainte, une seule chose peut détruire chez eux toute velléité de nous reprendre l'Alsace, c'est la garde et la défense de nos postes avancés du Rhin par des voies ferrées multiples à travers les Vosges permettant la mobilisation rapide et le transport rapide des munitions et de l'artillerie lourde, défense d'autant plus impérieuse à organiser que le traité de Versailles a interdit la construction de toutes fortifications sur le Rhin, en laissant les Allemands libres de masser des troupes et de l'artillerie dans la Forêt-Noire, où ils sont en train de doubler les voies ferrées. N'hésitez pas à nous construire des percées des Vosges, qui coûteront quelques centaines de millions de francs, mais qui sont indispensables à notre prospérité économique et à notre défense militaire » ; ne croyez-vous pas que cette voix d'Alsace serait entendue ? Pour ma part, j'y ai pleine confiance ».

C'est désormais au Parlement de décider en dernier ressort, en tenant compte des difficultés causées par l'insuffisance de nos ressources financières. Il aura, notamment, à résoudre la question des tunnels et des déclivités maxima, posée par le Congrès de Colmar. Elles ne sont pas insurmontables, et les projets mûris par dix années d'étude sont désormais, espérons-le, à la veille d'une solution positive qui ne saurait tarder sans nous causer un grave préjudice national.

FERNAND-JACQ,
Docteur en droit,
Avocat à la Cour de Paris.

Assemblées générales

Compagnie lorraine de Charbons, Lampes et Appareillages électriques.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 17 SEPTEMBRE 1921.

Au cours de l'exercice commencé le 1^{er} avril 1920 et terminé le 31 mars 1921, les travaux de reconstitution des usines de Pagny-sur-Moselle ont été continués à l'aide des avances faites, jusqu'à novembre 1920, sous forme de bons du Trésor par l'Office de la Reconstitution industrielle et des fournitures de matériaux et de machines livrées et réglées par le Comptoir d'Achats.

Depuis novembre, le programme de reconstruction primitivement établi a été ramené à l'achèvement de l'usine de lampes et de l'usine de fabrication de charbons électriques et de balais, la première fonctionne depuis les premiers mois de 1921, la deuxième sera mise en marche dans le dernier trimestre de 1921.

Les dossiers constituant les réclamations de la compagnie ont été déposés en décembre 1920 à la Commission cantonale chargée de les recevoir.

L'étude préparatoire faite par les services de la Reconstitution industrielle est actuellement terminée ; selon toutes probabilités, la commission cantonale pourra statuer avant la fin de 1921 et déterminer le montant définitif des indemnités dues à la Compagnie.

Afin de régler les sommes dues à ses banquiers et à ses créanciers par suite des avances faites en 1914 pour la constitution de ses approvisionnements et de ses stocks en magasin, et afin de constituer des ressources nouvelles indispensables pour la continuation de ses travaux, la compagnie a été amenée à réaliser en janvier 1921 l'augmentation du capital-actions porté de 2 500 000 fr à 4 000 000 fr et à procéder en février 1921 à une émission d'obligations 6,5 pour 100 se montant à 5 000 000 fr conformément aux résolutions de l'assemblée générale du 1^{er} décembre 1920.

Le Conseil envisage actuellement avec un groupement important d'industries sinistrées la participation à une ouverture de crédit basée sur une émission d'obligations qui seront gagées par les annuités accordées à la compagnie, pour le paiement, des dommages de guerre, conformément aux articles 152 et suivants de la loi du 31 juillet 1920.

Le compte « Profits et Pertes » accuse comme résultat de l'exercice un bénéfice de 306 021,09 fr représentant la différence entre les résultats de l'exploitation et les frais généraux augmentés des charges financières et de l'amortissement de comptes divers.

Le report à nouveau s'élève à 768 667,18 fr qui résulte des pertes antérieures à l'exercice en cours, soit 1 074 688,27 fr diminuées du bénéfice de l'exercice 1920-1921, s'élevant à 306 021,09 fr.

La compagnie espère pouvoir balancer ce déficit au cours

de l'exercice 1921-1922, lorsque l'Etat lui aura attribué, au moment du règlement de ses dommages, les intérêts au taux de 5 pour 100 attribués par la loi du 17 avril 1919, article 47, sur le montant des sommes dues pour la réparation des pertes subies.

BILAN AU 31 MARS 1920.

| Actif. | fr |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------|
| Situation au 1 ^{er} août 1914 : | |
| Usine et matériel..... | 3 803 937,31 |
| Marchandises en magasin..... | 2 316 526,27 |
| Situation au 31 mars 1921. | |
| Usines de Pagny-sur-Moselle : | |
| Terrains..... | 23 018,30 |
| Approvisionnements..... | 984 005,10 |
| Produits finis et travaux en cours..... | 94 657,45 |
| Reconstitution des usines Pagny..... | 10 474 540,04 |
| Usine de balais de la rue Emériau..... | 547 823,75 |
| Dépôts de ventes marchandises..... | 438 833,05 |
| Caisses et banques..... | 1 362 305,75 |
| Titres en portefeuille..... | 7 857 » |
| Avances à fournisseurs..... | 382 010,85 |
| Actionnaires..... | 1 125 000 » |
| Clients et débiteurs divers..... | 1 309 902,10 |
| Frais d'émission et prime de remboursement des obligations..... | 309 000 » |
| Frais de constitution..... | 1 » |
| Mobilier et installations de bureaux..... | 17 348,72 |
| Etudes et brevets..... | 1 » |
| Profits et pertes : | |
| A déduire : | |
| Solde déficitaire des exercices antérieurs..... | 1 074 688,27 |
| Bénéfices de l'exercice 1920-1921..... | 306 021,09 |
| | <u>768 667,18</u> |
| | <u>23 756 434,57</u> |

| Passif. | fr |
|---------------------------------------------------------------|----------------------|
| Capital-actions..... | 4 000 000 » |
| Obligations 6,5 pour 100 1921..... | 5 000 000 » |
| Réserve légale..... | 33 312,65 |
| Réserve générale..... | 192 854,49 |
| Fonds de renouvellement..... | 200 000 » |
| Reconstitution industrielle..... | 9 804 580,06 |
| Fournisseurs et créiteurs pour travaux de reconstitution..... | 418 511,50 |
| Créditeurs divers..... | 2 680 802,70 |
| Effets à payer..... | 643 040,45 |
| Fournisseurs..... | 783 325,82 |
| | <u>23 756 434,57</u> |

SECTION DE LÉGISLATION

Les méfaits du règlement transactionnel

L'auteur analyse les conditions d'application de la législation sur le règlement transactionnel ; il en fait une critique serrée et s'associe aux vœux des chambres de commerce pour en demander l'abrogation.

Lorsque parut au « Journal officiel » la loi du 2 juillet 1919, instituant pour trois années le régime du règlement transactionnel pour cause générale de guerre, destiné à éviter les faillites et à canaliser les liquidations inévitables, un grand espoir avait saisi les commerçants, les banquiers et les hommes d'affaires en général. On espérait beaucoup de la nouvelle législation, on comptait même de temporaire la rendre définitive.

Ces espoirs se sont rapidement évanouis et les méfaits de cette loi d'après-guerre se sont ajoutés à ceux de la législation spéciale du même genre, qui a permis aux vieux principes juridiques comme aux vieilles lois économiques de prendre une éclatante revanche sur l'arbitraire du Parlement !

L'Union des Présidents des Chambres de Commerce de France, des groupements industriels importants, ont réclamé depuis quelques mois l'abrogation pure et simple de la loi de 1919. Le sénateur Roy a déposé un projet de réforme.

D'autre part la Chambre de Commerce de Paris s'est fait l'écho des doléances du commerce et de l'industrie et a pris récemment, à la suite d'une réunion, qui recueillit, paraît-il, l'unanimité, la résolution suivante, transmise au ministre compétent, en même temps qu'elle recevait dans la presse une large et favorable publicité.

Aux termes de cette résolution, la Chambre de Commerce de Paris émettait le vœu :

Que le Parlement vote sans délai la proposition de loi déposée le 30 juin 1921, sur le bureau du Sénat par M. Henry Roy et tendant à modifier la loi précitée, que cette proposition de loi soit complétée par des amendements tendant à ce que :

1° L'article premier de la loi du 2 juillet 1919 soit modifié de façon à nettement spécifier que le bénéfice du règlement transactionnel ne peut être accordé qu'aux seuls commerçants victimes directes de la guerre, les tribunaux ayant un souverain pouvoir d'appréciation en la matière ;

2° Le jugement déclaratif et le jugement d'homologation soient publiés dans l'un des journaux spéciaux indiqués pour ces sortes de publications, avec inscriptions au Registre du Commerce ;

3° L'article 2 de la loi soit modifié en prescrivant la réunion d'une assemblée concordataire où les non-comparants seront considérés comme opposants ;

4° Les articles 2, 7 et 8 de la loi prévoient la réunion des créanciers pour le contrôle de la réalité et de la sincérité des créances notifiées par le débiteur ;

5° L'article 5 de la loi spécifie que l'inventaire, que doit dresser le débiteur, comprenne non seulement l'indication de tous ses droits mais aussi de toutes ses obligations, et, en particulier, de ses marchés à livrer ;

6° L'article 6 de la loi institue la consultation des créanciers sur l'autorisation de continuation de commerce du débiteur.

Le 3 décembre dernier le Sénat, sur la proposition de M. Roy, a voté un texte amendant la loi de 1919, en limitant l'étendue et en accordant aux créanciers quelques garanties.

Actuellement la commission du commerce de la Chambre est saisie, et elle hésite entre trois solutions : 1° Maintenir la législation de 1919 tout en s'efforçant de la paralyser dans la pratique et la laisser mourir lentement d'elle-même ; 2° adopter le texte du Sénat tel quel ; 3° abroger purement et simplement la loi en fixant prématurément sa durée.

Le signataire de cette étude a remis aux parlementaires de ses amis, membres de la Commission, un mémoire exposant les critiques auxquelles, à son avis, donnait lieu l'application de la loi, insistant sur l'insuffisance du texte voté par le Sénat et sur la nécessité, si l'abrogation pure et simple de la loi ne devait pas être acceptée, d'interpréter impérativement certaines dispositions qui donnent lieu à des divergences graves de la jurisprudence et nuisent autant aux débiteurs qu'aux créanciers, en paralysant le crédit. C'est sur l'un de ces points, capital à notre avis, que nos commentaires porteront essentiellement dans cette courte étude.

La loi de 1919 avait pour but d'éviter la faillite à des personnes atteintes par la guerre et ses répercussions, or, les demandes excessivement nombreuses de règlement émanent bien plus encore de commerçants, que la baisse des prix a surpris, que de victimes de la guerre, que la loi devait seuls protéger. Les détenteurs de stocks y ont vu un moyen d'éviter de liquider en baisse et d'attendre la reprise espérée des cours, certains dissimulateurs de bénéfices de guerre en ont usé pour échapper au contrôle du fisc. La loi est telle que le tribunal s'est cru à peu près invariablement obligé d'ac-

corder le règlement sollicité. Et le commerçant qui attend le règlement de grosses échéances d'un autre qui l'a obtenu, se trouve soudain dans l'obligation de le demander pour lui-même, dans beaucoup de cas. Ce sont des répercussions sans fin. Si la loi devait subsister telle qu'elle jusqu'en janvier 1923 et être appliquée comme elle l'a été, elle risquerait de ruiner tout crédit et de mettre entrave à toute reprise industrielle.

Le bénéfice du règlement transactionnel a été octroyé à des commerçants, individus ou collectivités, d'installation postérieure à la guerre, même à des sociétés constituées dans le cours de l'année 1920, postérieurement à la manifestation de la baisse et en pleine crise industrielle. Ces pratiques ont eu pour effet de permettre à des commerçants peu scrupuleux, individus ou sociétés, de conclure des marchés à trois ou à six mois, de réaliser les marchandises livrées, avant l'échéance, et d'obtenir avant la survenue de celle-ci le bénéfice du règlement transactionnel, par suite de commettre une véritable escroquerie. Rien, en tout cas, ne pouvait être et n'a été fait plus néfaste pour le crédit commercial et industriel, c'est-à-dire, pour le crédit tout court, que ces pratiques, qui malheureusement se sont généralisées.

Ainsi les créanciers chirographaires sont quotidiennement lésés, ruinés, et par contre-coup sont amenés à déposer leur bilan à leur tour, ce qui détermine une cascade de faillites déguisées et de ruines; mais une jurisprudence inaugurée par un arrêt de la Cour de Caen du 25 juillet 1921 (qu'ont suivie certains tribunaux et notamment le Tribunal de Commerce de la Seine, comme aussi les juges de référé du Tribunal civil de même siège) a prétendu trouver, contrairement aux dispositions du même ordre, en matière de faillite et de liquidation judiciaire, qui s'imposent évidemment à fortiori à la matière du règlement transactionnel, dans la généralité du texte de 1919, le moyen d'opposer aux créanciers gagistes eux-mêmes les effets du moratorium imposé aux créanciers ordinaires; de telle sorte que les vendeurs de fonds de commerce par exemple n'auraient plus aucune garantie, nonobstant leur privilège, et les prescriptions des articles 508, 546 et 548 du Code de Commerce, du paiement de leur prix de vente.

Avec ce système, lamentable à tous égards, le créancier privilégié, qui n'a pas le droit de discuter l'attribution du bénéfice du règlement transactionnel à un débiteur qui est très souvent un débiteur de mauvaise foi, auquel ledit règlement n'est pas opposable par définition, se le voit cependant opposer en fait parce que l'article 4 de la loi, mal rédigé, prescrit de cesser toute poursuite ou exécution; son gage retombe dans la masse même s'il a obtenu un jugement ou arrêt définitif ordonnant sa réalisation par adjudication, le débiteur le détient et exploitera le fonds sous la surveillance de l'administrateur judiciaire, et le pauvre créancier gagiste attendra le bon plaisir du débiteur; il sera plus mal placé que le simple créancier chirographaire, qui, lui, a quelque voix au chapitre, qui peut, par exemple, s'il y a lieu (et l'éventualité n'est pas que théorique) demander la transformation en faillite ou en liquidation judi-

ciaire, qui peut tout au moins surveiller personnellement la gestion du débiteur, à la contester et dans l'intervalle obtenir des acomptes.

Cette législation, son interprétation du moins, aboutit donc à une situation scandaleuse, dangereuse au plus haut point, puisqu'elle détruit les principes fondamentaux du code civil et du code de commerce, sans procurer, en échange, des avantages appréciables, même au débiteur.

Or rien dans la loi, ni dans son texte, ni dans son esprit, ni surtout en équité comme en logique ne justifie une telle dérogation au droit commun auquel la loi exceptionnelle de 1919 ne peut faire échec sans disposition formelle.

En effet, si, aux termes de l'article 4 § 2 de la loi, le jugement d'admission au bénéfice du règlement transactionnel entraîne de plein droit sursis provisoire à tous actes d'exécution, il convient d'observer que cette disposition n'est que la reproduction quasi littérale de l'article 5 de la loi du 4 mars 1889, sur la liquidation judiciaire suivant lequel, à partir du jugement qui déclare ouverte la procédure de liquidation, les actions mobilières, immobilières, et toutes voies d'exécution sont suspendues comme en matière de faillite.

Or les créanciers nantis d'une hypothèque ou d'un gage sont formellement exceptés des dispositions qui précèdent et généralement des opérations de la faillite; en effet, aux termes des articles 508, 546 et 548 et suivants du Code de Commerce, les créanciers gagistes sont en dehors de la faillite, dont les délibérations et répartitions leur restent étrangères et inopposables, et ils peuvent poursuivre la réalisation de leur gage, nonobstant toute déclaration de faillite ou de liquidation judiciaire. (Cass., 19 juin 1889. S. 89-1-480; D. 89-1-377.)

Il est d'évidence que ce qui est ainsi explicitement édicté en matière de faillite et de liquidation judiciaire est à plus forte raison applicable en matière de règlement transactionnel; que rien dans le texte ni dans l'esprit de la loi du 2 juillet 1919 n'indique que le législateur, rompant avec les principes en matière de faillite, ait voulu priver les créanciers gagistes du droit de poursuivre la réalisation de leur gage, ordonnée par justice.

Bien mieux et tout au contraire, le même article 4 a confirmé de façon certaine, la distinction entre les créanciers ordinaires et ceux munis d'un gage, en laissant ces derniers en dehors du règlement transactionnel; en effet, le jugement d'admission n'arrête pas le cours des intérêts de leur créance, et il y a mieux encore, puisqu'aux termes des articles 11 et 12, ils n'ont pas voix aux opérations du règlement qui passe à leur insu et ne saurait en conséquence leur être opposable.

Heureusement une réaction s'est affirmée contre cette étrange jurisprudence, inaugurée par un arrêt de la Cour d'Angers du 22 juin 1921, qu'ont suivi à leur tour divers cours et tribunaux, notamment le Tribunal de Toulouse, de Tarascon, de Perpignan et la Cour de Toulouse (11 nov. 1921). Le professeur R. Cassin, de la

Faculté de Droit de Lille, dans la *Gazette du Palais* du 16 décembre dernier, a analysé substantiellement la question et, dans une magistrale étude, a démontré le bien-fondé de la thèse que nous sommes heureux de soutenir avec lui. Il tire notamment argument des travaux préparatoires de la loi, de l'emprunt affirmé à la loi belge sur le concordat préventif, de l'indication expresse du rapporteur que les dispositions, dont s'agit, ne peuvent s'opposer aux créanciers privilégiés ou nantis. Nous regrettons de ne pouvoir reproduire ici même le résumé de ses arguments si clairs et si décisifs. On nous permettra de reproduire une conclusion qui est la nôtre :

« La thèse, qui déclare le sursis, édicté par l'article 4 § 2 de la loi de 1919 opposable aux créanciers munis de sûretés réelles, est dénuée de tout fondement au regard de cette loi. Elle porte une atteinte grave et gratuite aux principes fondamentaux, qui lient la suspension des poursuites individuelles au respect de la règle d'égalité entre les créanciers soumis à la loi du dividende. Nous sommes à une heure où le crédit en général souffre de l'insuffisance de publicité du règlement transaction-

nel, où celui-ci est très vivement critiqué dans les milieux commerciaux pour des vices incontestables d'organisation ou pour des erreurs d'application, dont les magistrats sont à tort déclarés seuls responsables. Le concordat préventif, qui a si bien réussi en Belgique et dans d'autres pays est très menacé dans notre pays. Ce crédit réel serait très profondément atteint et le concordat primitif irrévocablement condamné si la jurisprudence devait consacrer une jurisprudence aussi faussee que séduisante. »

Nous ajouterons que la constatation qu'actuellement près de quatre milliards de francs de passif sont actuellement suspendus par l'effet de la législation de 1919, est le meilleur argument, ajouté à tant d'autres, de la nocivité du règlement transactionnel et nous n'hésitons pas, pour notre part, à réclamer le vote d'urgence du projet de la Chambre de Commerce ou mieux encore l'abrogation pure et simple d'une loi néfaste pour notre pays et qui constitue un remède pire que le mal.

FERNAND-JACQ,

Docteur en Droit, Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur l'application de la loi sur les impôts cédulaires suivant la nature des revenus.

Le « Journal officiel » du 6 décembre 1921 publie, page 4640 des « Débats parlementaires, Chambre » la question et la réponse suivantes :

10854. — M. Charles-Roux, député, demande à M. le ministre des Finances : 1° en vertu de quel article de loi l'administration exonère de tout impôt cédulaire le bénéficiaire d'un traitement de 3 500 fr et d'une pension de 1 800 fr alors que le contribuable à la fois comptable au salaire de 3 500 fr et agent d'assurances au bénéfice non commercial net de 1 800 fr est assujéti — justement d'ailleurs — à un impôt cédulaire unique sur la base de 5 300 fr ; 2° s'il n'y aurait pas lieu d'inviter les contrôleurs à cumuler les traitements et les pensions comme toutes les autres sources de revenus professionnels, en annulant l'article 103 de l'instruction du 30 mars 1918. (Question du 15 novembre 1921.)

Réponse. — Les revenus qu'un contribuable retire, d'une part, d'un emploi salarié et, d'autre part, de l'exercice d'une profession non commerciale, ont les uns et les autres le caractère de revenus professionnels et ils doivent, par suite, être soumis à un impôt cédulaire unique, correspondant à la profession ou à l'emploi exercé à titre principal. Par contre les pensions n'ont pas, comme les traitements et salaires, le caractère exclusif de revenus du travail et, lorsqu'un contribuable bénéficie à la fois d'une pension et d'un traitement, il convient de taxer distinctement les revenus appartenant à chacune de ces deux catégories.

Sur l'application de l'impôt général sur le revenu.

Le « Journal officiel » du 24 décembre 1921 publie, page 5227 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse qui suivent.

10890. — M. Lesaché, député, demande à M. le ministre des Finances si on ne doit pas considérer comme excessif le fait, par l'administration des contributions directes, de

frapper d'une pénalité de 500 pour 100, calculée sur le montant de l'impôt général sur le revenu, les salariés (directeurs, employés ou ouvriers) qui n'ont pas déclaré, avant le 31 mars, leur revenu global, lorsque ce revenu comprend uniquement les appointements qu'ils touchent dans les maisons de commerce, étant donné que ces appointements ont été déclarés dans le courant de janvier par l'employeur, si l'on peut considérer comme étant de mauvaise foi un contribuable qui sait que ses revenus ont été déclarés par son patron et qui a cru n'être pas obligé de les déclarer une seconde fois. (Question du 16 novembre 1921.)

Réponse. — Les contribuables passibles de l'impôt général ne peuvent s'abstenir de déclarer leurs revenus pour une année déterminée que tout autant que ces revenus ayant déjà fait de leur part l'objet d'une déclaration antérieure, ne se sont pas accrus depuis l'époque à laquelle cette déclaration a été souscrite ; s'il en est autrement, les intéressés doivent être considérés comme ayant maintenu une déclaration devenue insuffisante et, lorsque l'insuffisance est supérieure au dixième du revenu imposable, ils sont passibles, à moins que la bonne foi soit établie, de la majoration de droits prévue par l'article 2 de la loi du 31 juillet 1920. La déclaration faite par les employeurs en vue de l'établissement de l'impôt sur les traitements et salaires ne dispense pas les salariés des obligations qui leur incombent en matière d'impôt général sur le revenu. Mais, quand cette déclaration a été faite régulièrement, il y a lieu d'admettre, à moins de circonstances particulières, que les salariés, n'ayant pas d'autres revenus que leurs appointements, ont pu de bonne foi omettre de souscrire une déclaration personnelle et, si une majoration d'impôt leur a été appliquée, ils peuvent en obtenir le dégrèvement.

Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux aux sociétés en commandite.

Le « Journal officiel » du 24 décembre 1921 publie, page 5227 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse suivantes.

10946. — M. Jean Maillard, député, demande à M. le ministre des Finances si, dans une société en commandite simple, des bénéfices précédemment différés sont employés à un moment donné pour augmenter, soit le capital des gérants, soit la commandite des commanditaires, l'utilisation de ces bénéfices différés entraînera l'obligation de déclarer comme revenu, au cours de l'année où a lieu l'augmentation de capital, la répartition ainsi faite. (Question du 18 novembre 1921.)

Réponse. — Dans le cas d'une société en commandite simple, les bénéfices affectés à des réserves doivent être considérés comme ayant été mis à la disposition des gérants et des commanditaires dans l'année où ils ont été constatés par les écritures comptables et ils doivent, dès lors, être compris dans les bases de l'impôt général sur le revenu dû par les intéressés au titre de l'année suivante. Ils n'ont donc plus à figurer dans les déclarations ultérieurement souscrites par les associés, dans le cas où les réserves viendraient à être distribuées ou affectées à une augmentation de capital.

Sur l'assujettissement au droit de timbre des accusés de réception de chèques.

Le « Journal officiel » du 25 décembre 1921 publie, page 5 276 des « Débats parlementaires, Chambre », les deux questions et réponses qui suivent :

11391. — M. Grinda, député, demande à M. le ministre des Finances en vertu de quel texte l'administration assujettit au timbre les accusés de réception de chèques à négociier que les maisons de commerce s'adressent entre elles, la loi du 30 mars 1872 ne faisant aucune distinction entre les établissements de crédit et des commerçants. (Question du 12 décembre 1921.)

Réponses. — Les accusés de réception de chèques à négociier, à accepter ou à encaisser sont exempts du droit de timbre des quittances par application de l'article 4 de la loi du 30 mars 1872, sans qu'il y ait à distinguer suivant qu'ils sont délivrés par des établissements de crédit ou par des commerçants et des particuliers. Mais ils ne bénéficient de cette exemption que si la formule « à négociier ou à accepter » ne dissimule pas la remise de chèques en paiement d'une dette.

Il importe de remarquer, à cet égard, qu'un chèque ne peut être considéré comme remis à l'encaissement que si le destinataire le reçoit en qualité de mandataire du tireur ou du bénéficiaire et met, en conséquence, après encaissement, le montant de ce chèque à la disposition de son mandant, lequel l'utilise ensuite à son profit. Si donc le destinataire du chèque reçoit cette valeur en qualité de créancier, l'accusé de réception qui en est délivré ne peut profiter de la dispense de timbre édictée par l'article 4 de la loi du 30 mars 1872.

11393. — M. Etienne Rognon, député, demande à M. le ministre des Finances si un accusé de réception d'un chèque reçu par un commerçant en paiement de factures est exempt du timbre de quittance s'il ne peut fournir par lui-même la preuve d'une libération. (Question du 12 décembre 1921.)

Réponse. — Réponse négative. Le droit de timbre est dû. (Voir réponse à la question écrite n° 4256, posée le 26 août 1915, par M. Puech, député, « Journal officiel » du 11 septembre 1915, page 6473, 2^e colonne. Réponse à la question écrite n° 11391, posée le 12 décembre 1921, par M. Grinda, député, et insérée ce jour.)

Sur la réglementation de la radiotélégraphie à bord des navires de commerce.

Le « Journal officiel » du 23 décembre publie, p. 5 198 des « Débats parlementaires, Chambre » la question et la réponse qui suivent ; dans la réponse sont donnés quelques rensei-

gnements sur la réglementation actuelle de la réglementation future.

11283. — M. Jean Jadé, député, demande à M. le ministre des Travaux publics si, en raison du grand intérêt de la réforme, il ne serait pas possible de faire hâter l'élaboration du règlement d'administration publique destiné à compléter celui du 21 septembre 1908, afin de permettre la promulgation du décret relatif à la réglementation de la télégraphie sans fil à bord des navires de commerce. (Question du 5 décembre 1921.)

Réponse. — L'administration de la marine marchande étudie, en ce moment, les dispositions à prendre pour réglementer l'usage de la radiotélégraphie à bord des navires de commerce. Une commission présidée par M. le député Guernier et qui comprend des membres du Parlement et des administrations intéressées, des représentants de l'armement et des techniciens, a été chargée d'élaborer un projet de décret fixant les conditions dans lesquelles la radiotélégraphie sera rendue obligatoire à bord des navires de commerce. Cette commission a tenu plusieurs réunions et a déjà posé les principes essentiels de la réglementation sur la matière. Mais ses travaux ont dû être interrompus en raison des tractations qui ont lieu actuellement à Londres entre la France et plusieurs nations signataires de la convention internationale du 20 janvier 1914 sur la sécurité de la vie humaine en mer. Cette convention, dans son titre V, a, en effet, posé un certain nombre de règles relatives à la radiotélégraphie sur les navires de commerce. Mais, par suite des progrès réalisés en matière de télégraphie sans fil depuis 1914, ces règles ont besoin d'être révisées, et les conversations en cours ont précisément pour but de déterminer les principes et l'étendue de cette révision. Sur ce point particulier, il est vraisemblable que l'on aboutira, d'ici très peu de temps, à un accord de principe entre les grandes puissances intéressées. Dès que ce résultat sera obtenu, la Commission chargée d'établir la réglementation française de l'usage de la radiotélégraphie à bord des navires de commerce reprendra ses travaux et arrêtera le texte définitif du projet de décret contenant cette réglementation, en tenant compte des indications que lui fournira l'accord intervenu à Londres. En attendant, la question reste provisoirement réglée par le décret du 1^{er} février 1910 qui a maintenu en vigueur, jusqu'à nouvel ordre, la réglementation édictée pendant la guerre, beaucoup plus sévère, certainement, que celle qui interviendra pour consacrer les principes de la Convention de Londres.

Décret apportant une dérogation au décret du 9 septembre 1905 relatif aux caisses de secours contre le chômage involontaire.

Voici le texte de ce décret, en date du 22 décembre 1921 et publié au « Journal officiel » du 27 décembre 1921, p. 14 105.

ARTICLE PREMIER. — Par dérogation à l'article 5 du décret du 9 septembre 1905 modifié par les décrets des 20 avril 1906, 31 décembre 1906, 3 décembre 1908, 28 décembre 1912, 21 mars 1919 et 2 mai 1921, des subventions pourront être accordées pour les secours alloués pendant l'année 1922 aux nouvelles caisses de chômage ne justifiant pas de six mois de fonctionnement, à la condition :

- 1° Qu'elles comptent 50 membres au moins ;
- 2° Que leurs statuts ou règlements prévoient une cotisation suffisante pour que le fonctionnement régulier de la caisse soit assuré et qu'elles aient perçu effectivement cette cotisation ;
- 3° Que le stage de six mois prévu par l'alinéa b de l'article 7 du décret susvisé ne soit réduit au-dessous de cette durée que pour les chômeurs ayant adhéré pendant les premiers six mois de fonctionnement ;
- 4° Qu'elles satisfassent aux autres prescriptions du décret susvisé.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 3.

21 JANVIER 1922.

Chronique. — Société française des Electriciens. — Bibliographie : La traction électrique aux Etats-Unis, par Marcel JAPIOT; Forces hydrauliques, moteurs hydrauliques, par E. GARNIER; Les Annales des Postes Télégraphes et Téléphones. — Société des amis de la Télégraphie sans fil, p. 73-74.

Section scientifique et technique. — Propagation des ondes dans les transformateurs, par H. MASSING, p. 75. — Revues, analyses et informations : Sur la réception des ondes entretenues par modulation, p. 82.

Section industrielle. — La production et l'utilisation de la vapeur, p. 83. — Revues, analyses et informations : Progrès récents en électrochimie, d'après les brevets, p. 92; L'aménagement de l'Aar supérieur d'après le projet des Bernische Kraftwerke, p. 99; Procédé graphique pour le calcul de l'entrefer le plus favorable dans les bobines de réactance à fer saturé, p. 102.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société anonymes des Forges et Aciéries du Nord et de l'Est, p. 103; Société générale de Force et Lumière, p. 106.

Section de législation. — L'enregistrement des concessions municipales de distribution d'énergie, par Paul BOUGAULT, p. 107. — Note sur la spécification dans les contrats du régime hydraulique d'une chute d'eau, par Louis ACSEDDAT, p. 111. Législation; jurisprudence, réglementation : Sur l'assujettissement au droit de timbre des lettres de voiture, p. 112.

Société française des Electriciens : Séance du 4 janvier 1922. — Deux communications étaient inscrites au programme de cette séance : « Les grands problèmes actuels de l'appareillage électrique, les appareils à très haute tension, les isolateurs suspendus, les disjoncteurs ultra-rapides, les disjoncteurs sélecteurs », par M. Vedovelli et : « Les communications téléphoniques entre centrales, téléphonie par courants à haute fréquence », par M. Marius Latour.

Le temps faisant défaut, la communication de M. Marius Latour a été remise à la prochaine séance.

M. Vedovelli qui a fait récemment un long voyage d'études aux Etats-Unis, exposa, tout d'abord, les constatations qu'il avait faites durant son voyage et décrit les plus importantes des installations américaines à très haute tension.

Un grand nombre de lignes américaines à haute tension sont établies sur poteaux en bois, d'autres sur poteaux métalliques; le ciment armé n'est pas utilisé.

Les lignes sont suspendues aux supports par des isolateurs à suspension qui sont principalement du genre Ohio-Brass, Jeffry, Dewitt, et Hewlett. Au début de l'exploitation des lignes à très haute tension, les Américains eurent de gros ennuis avec les isolateurs; il était nécessaire de les remplacer complètement en cinq ans; actuellement de grands progrès ont été réalisés et on ne remplace annuellement que 2 à 5 pour 100 des isolateurs des lignes. Les claquages étaient attribués à la répartition inégale du potentiel sur les différents éléments constitutifs de la chaîne et au vieillissement de la porcelaine. D'après M. Vedovelli, ce vieillissement n'existe pas et la cause des claquages qui lui étaient attribués résidaient surtout dans la différence des coefficients de dilatation de la porcelaine, des scellements et des tiges. M. Vedovelli exposa une méthode de mesure de la

répartition du potentiel le long d'une chaîne d'isolateurs et décrit différents modèles d'isolateurs qu'il a étudiés en vue de supprimer les inconvénients reconnus en exploitation. Parmi ces différents modèles, il faut citer, en particulier les isolateurs à capots métalliques qui assurent une meilleure répartition du potentiel et favorisent l'amorçage de l'arc à l'extérieur plutôt qu'à travers l'élément.

Après avoir décrit différents types de disjoncteurs américains à très haute tension et à grande puissance de rupture, le conférencier présenta aux auditeurs des modèles d'appareils étudiés par lui.

D'un exposé sur les sous-stations type extérieur, il ressort que leur application ne serait intéressante que pour des tensions supérieures à 45 000 v.

M. Vedovelli présenta ensuite une étude approfondie du problème de la sélection sur les réseaux, décrit différents types de relais qu'il a étudiés et, après quelques considérations sur les sous-stations automatiques et sur les disjoncteurs ultra-rapides à courant continu, il termina cette intéressante conférence par une description détaillée d'un nouveau disjoncteur ultra-rapide dont la mise au point lui est personnelle. — II. C.

Bibliographie : La traction électrique aux Etats-Unis. par Marcel JAPIOT, ancien inspecteur aux Corps des Mines, ingénieur en chef du Matériel et de la Traction des Chemins de Fer Paris-Lyon-Méditerranée et A. FERRAND, ingénieur civil des Mines (Saint-Etienne), ingénieur principal à l'Office central d'Etudes de Matériel de Chemins de Fer (1).

(1) Un volume 23 cm x 14 cm, de 612 pages avec 126 figures et 11 grandes planches hors texte, édité par Dunod, 47 et 49, quai des Grands-Augustins, Paris (VI^e). Prix net sans majoration : 38 fr.

— Rappelons que, par décision du 14 novembre 1918, le ministre des Travaux publics avait institué, sous la présidence de M. Gabriel Cordier, un Comité d'Etudes pour l'Électrification des Chemins de fer d'intérêt général et que ce comité avait délégué des missions en Suisse et en Italie, d'une part, et aux États-Unis, d'autre part, afin de se documenter sur les conditions de fonctionnement des installations de traction électrique qui existent dans ces divers pays. Les deux auteurs faisaient partie du groupe désigné pour le voyage d'études aux États-Unis et, dans le présent ouvrage, ils décrivent en détail l'équipement des réseaux électrifiés qu'ils ont visités en complétant leurs propres observations par des renseignements puisés dans les revues techniques.

La présentation logique d'un sujet aussi vaste ne pouvait se faire que par une monographie bien distincte de chacun des neuf réseaux envisagés. En effet, bien que plusieurs compagnies américaines aient adopté le même système de courant, courant continu haute ou basse tension, courant monophasé, courant triphasé, système dit « monotriphasé », il y a, dans la consistance des équipements, des différences caractéristiques assez notables pour justifier une description indépendante.

Qu'il s'agisse donc de la ligne de transmission, qu'il s'agisse de la voie ou qu'il s'agisse du matériel roulant, aucun détail n'est passé sous silence et, malgré cette minutie, les auteurs ont su rendre la lecture de leur livre, facile et attrayante, grâce à leur connaissance approfondie du sujet et grâce aussi à une rédaction choisie ; pour bien souligner un appareil, un organe ou un dispositif technique quelconque, ils ont encore fait un large et judicieux emploi des caractères en italique ; les figures dans le texte sont nombreuses et enrichies de légendes explicatives ; quant aux planches, leurs dimensions, 60 cm \times 20 cm, montrent combien on s'est efforcé de présenter des dessins clairs, permettant de suivre la construction des machines jusque dans leurs moindres détails. C'est un avantage que sauront apprécier particulièrement les ingénieurs spécialisés dans la traction.

Les conclusions occupent une place importante, de la page 551 à la page 608 ; c'est que les auteurs ont dû agrandir considérablement le champ de leur documentation, parce que la comparaison des divers systèmes de traction ne pouvait être complète que si l'on tenait compte aussi des résultats obtenus en Europe, soit dans l'emploi du courant triphasé très en faveur en Italie où il a atteint un degré de perfection remarquable, soit dans l'emploi du courant monophasé appliqué sur la ligne du Midi et sur les Chemins de Fer fédéraux suisses à la fréquence de 15 à 16 p. s. alors que les États-Unis ont adopté presque uniformément la fréquence de 25 p. s. pour leurs lignes de traction. On trouvera donc, dans cette dernière partie de l'ouvrage, des rapprochements intéressants entre les divers systèmes de traction électrique, entre les divers types de transmission pour locomotives électriques et, enfin, entre les diverses dispositions des châssis et des trains de roues de ces mêmes locomotives.

Nous ne pouvons pas terminer cette bibliographie sans rappeler que M. Mauduit, professeur à l'Institut électrotechnique de Nancy, a été chargé de faire un rapport sur l'enquête menée aux États-Unis par la délégation dont nous avons parlé au début ; ce rapport et tout ce qui s'y rattache a été publié dans la « R. G. E. », t. v, p. 402 et 930 ; t. vi, p. 25, 47, 277, 897 et 931. Les auteurs y font aussi allusion à la page 572 de leur livre et ils signalent qu'après une étude comparative des divers systèmes l'Office central d'Etudes de Matériel de Chemins de fer a fait ressortir, en faveur du système à 1 500 v avec prise de courant sur troisième rail, une légère économie sur les frais d'installation et une économie plus marquée sur les frais d'exploitation. C'est donc vraisemblablement ce système que l'on adoptera pour l'électrification des chemins de fer français. — B. C.

Bibliographie : Forces hydrauliques. Moteurs hydrauliques, par E. GARNIER, ancien élève de l'École Polytech-

nique, ingénieur du Bureau d'Organisation économique (1). — Ce livre, écrit pour l'Encyclopédie technique des Aide-Mémoire Plumon, est plus qu'un ouvrage de vulgarisation car l'auteur ne se contente pas de donner une classification et la description des différentes turbines utilisées, mais il développe encore les calculs essentiels qui permettront au lecteur d'avoir une idée de la théorie du fonctionnement de ces appareils ; il publie aussi beaucoup de courbes de rendement relevées sur des machines installées depuis plus ou moins longtemps et grâce auxquelles il est possible d'établir une comparaison entre les divers types.

La classification est suivie d'un chapitre consacré à la théorie générale des turbines et à la définition de la fonction n_t caractéristique d'une turbine, c'est-à-dire de son nombre de tours spécifique. Toute cette partie est amplement traitée ; l'auteur a même réuni dans un tableau les valeurs de n_t pour des appareils de genres et de constructeurs différents. Puis il étudie les turbines radiales centrifuges, radiales centripètes, les turbines parallèles à axe vertical, les roues Pelton et les turbines mixtes, la régulation et l'installation des turbines, et termine cette partie par quelques conseils généraux pour le choix d'une turbine et sur les renseignements qu'il convient de donner au constructeur, quand on fait la commande d'une turbine.

On trouve encore beaucoup de roues hydrauliques sur les petites rivières ; elles actionnent le plus souvent des meules préparant les farines de seconde catégorie. L'auteur en donne aussi la théorie. — B. C.

Bibliographie : Les Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones. — Cette publication, fondée en 1910 et qui paraissait jusqu'ici chaque trimestre, paraîtra dorénavant tous les deux mois.

Quoique nos lecteurs connaissent bien cette revue par les analyses que nous donnons de tous les travaux qui y sont publiés, il n'est peut-être pas inutile de rappeler quelle donne : un résumé des travaux du Service d'Etudes et de Recherches techniques, du Comité technique des Postes et Télégraphes ; une analyse des périodiques en langue française et des traductions d'articles choisis dans les périodiques étrangers ; des informations sur des questions d'actualité et sur les progrès les plus récents réalisés à l'étranger au point de vue technique. Elle apporte ainsi régulièrement aux techniciens de l'industrie aussi bien qu'à ceux de l'État une documentation complète sur les travaux en cours dans les laboratoires étrangers.

La publication est faite par les soins d'une commission nommée par le ministre des Postes et des Télégraphes et qui, présidée par M. Demery, inspecteur général, vice-président du Comité technique des Postes et Télégraphes, comprend parmi ses membres des personnalités comme celles de MM. Blondel, membre de l'Institut, le général Ferrié, Milon, directeur de l'Exploitation téléphonique, MM. les professeurs Henri Abraham et Gutton, M. Pomey, ingénieur en chef des Télégraphes.

L'Administration a confié l'édition des Annales à la librairie de l'Enseignement technique (3, rue Théuard, Paris V^e).

Société des Amis de la Télégraphie sans fil. — Ainsi que nous l'annonçons dans notre numéro du 7 janvier 1922, t. xi, p. 1, c'est le jeudi 25 janvier à 21 heures, dans l'amphithéâtre de physique de l'École Polytechnique (21, rue Descartes), qu'aura lieu la première réunion de cette société, réunion dans laquelle M. le général Ferrié fera une conférence avec projections cinématographiques.

Des cartes d'invitation peuvent être demandées au commandant Cornu, secrétaire général de la société, 102 bis, rue Didot, Saxe 21-23 (et non 21-22, comme il a été imprimé dans la note du 7 janvier).

(1) Un volume 18 cm \times 12 cm, 152 pages avec 93 figures dans le texte, édité par Ch. Beranger, 15, rue des Saints-Pères, Paris V^e et 21, rue de la Régence, Liège. Prix net : broché 22 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Propagation des ondes dans les transformateurs

Dans cette étude, l'auteur cherche à déterminer l'influence de la self-inductance et des capacités propres et par rapport à la terre des enroulements d'un transformateur sur la propagation d'une onde arrivant sur ses bornes. Sans aborder la solution mathématique complète de ces phénomènes, qui est extrêmement délicate et n'est, du reste, pas suffisamment précise pour donner des résultats quantitatifs, l'auteur n'envisage, dans cet article, que l'allure générale des phénomènes. Il est en effet difficile de tenir compte de nombreuses influences telles que l'hystérésis magnétique et diélectrique, des différences de valeurs de la self-induction et des capacités par unité de longueur suivant la position de l'élément considéré dans le transformateur. La théorie approchée suffira pour donner des résultats qualitatifs, qui sont vérifiés par l'expérience. Par exemple, elle conduit à cette conclusion qu'il convient de faire le rapport de la capacité-terre à la capacité-fil d'un transformateur aussi petit que possible.

I. Phénomènes étudiés. — Quand on étudie le processus par lequel le courant parvient à l'état permanent dans un transformateur, après la mise en circuit, en partant de la valeur zéro, on considère, d'abord, une période d'établissement du courant. Pendant cet intervalle de temps, il peut se produire de fortes surintensités, si le couplage se fait au moment où la tension se trouve dans le voisinage du maximum. Cet intervalle se prolonge pendant plusieurs périodes du courant. Avant lui, il en existe un autre extrêmement court, pendant lequel des ondes à front plus ou moins raide se propagent dans les enroulements à une vitesse du même ordre de grandeur que celle de la lumière. Cette période correspond à l'établissement du champ électrique dans le transformateur. Malgré leur rapidité, ces phénomènes sont extrêmement dangereux, et ils provoquent souvent des avaries dans les transformateurs, quand on met ceux-ci en circuit du côté haute tension.

On sait que ces ondes à front raide se présentent non seulement dans les cas d'ouverture ou de fermeture d'un circuit, mais également à la suite de surtensions dans un réseau, produites, par exemple, par une modification brusque du champ électrique dans l'atmosphère.

Notre étude s'appliquera à la propagation de ces ondes, quelle que soit leur origine.

II. Forme et amplitude de l'onde. — Pour faciliter l'analyse des phénomènes de propagation de ces ondes, nous supposerons qu'elles ont une forme rectangulaire. En pratique, elles ne se présentent pas sous une forme aussi simple, surtout dans le cas de manœuvres, car, quel que soit l'appareil utilisé, il faut un certain temps pour que la tension passe de la valeur zéro à la valeur E , ou inversement.

La loi de variation dépend essentiellement de la

manière dont la résistance ohmique de l'appareil varie en fonction du temps et de l'ionisation de l'intervalle traversé par l'arc de fermeture ou de rupture.

Dans les phénomènes de rupture, en particulier, on suppose que l'énergie électromagnétique emmagasinée se transforme instantanément en énergie électrostatique $\frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} CE^2$ et on en déduit que la surtension est égale à $E = I\sqrt{L/C}$, I étant la valeur des l'intensité dans le circuit au moment de cette rupture. Cette valeur théorique de E peut être énorme, et elle est très supérieure à celle qu'on obtient en pratique dès que l'intensité dépasse des valeurs d'environ 20 A. Les valeurs pratiques sont néanmoins considérables, mais on ne s'aperçoit pas immédiatement des avaries qu'elles produisent et on accuse la fermeture suivante, Beaucoup de surtensions, au moment de manœuvres, sont également dues à des phénomènes de résonance provenant de modifications dans la distribution des capacités.

La pratique montre que les claquages entre spires sont beaucoup plus fréquents que les claquages entre spires et masse, ce qui prouve que ce n'est pas la valeur absolue de l'amplitude de l'onde qui est dangereuse, mais sa forme, qui est telle que deux spires, ayant entre elles une faible épaisseur d'isolant, sont soumises à une différence de potentiel considérable.

Le but principal de notre étude sera donc d'étudier les contraintes électriques auxquelles sont soumis les enroulements du transformateur. En supposant que le front des ondes est vertical, nous nous plaçons dans le cas le plus défavorable, qui est celui que l'on doit envisager dans la construction. En réalité, l'onde à front vertical n'est pas rigoureusement le cas le plus défavorable. L'expérience montre, en effet, que la tension disruptive, pour une épaisseur donnée d'isolant, n'est pas fonction seulement de la tension à laquelle cet isolant est soumis, mais encore du temps pendant lequel

elle agit. Elle doit être d'autant plus considérable que le temps pendant lequel elle agit est plus court.

L'allure des phénomènes est donnée par la figure 1. (Expériences de Ryan et de Peek.)

Comme il faut un certain travail pour produire la rupture de l'isolant, une onde à front rigoureusement vertical n'est pas aussi dangereuse qu'une onde dont le front est légèrement incliné, l'isolant entre deux spires restant soumis plus longtemps à une différence de potentiel considérable pendant le passage de la deuxième. On conçoit donc qu'il existe, pour chaque amplitude, une forme d'onde particulièrement dangereuse. C'est, du reste, sur cette propriété que les claquages ne sont pas instantanés, que se basent les partisans des parafoudres à cornes pour démontrer leur

efficacité. Le retard dans l'air étant beaucoup plus petit que dans l'isolant, le parafoudre aurait le temps d'écouler une quantité notable d'énergie avant que l'avarie ait pu se produire.

La tension d'éclatement dépend donc de la fréquence, puisque c'est cette dernière qui détermine la forme du front d'onde. Dans les gaz, les ondes à haute fréquence produisent une ionisation beaucoup plus rapide et, par suite, produisent un arc avec une tension bien moindre que les ondes à basse fréquence. Dans les isolants non gazeux, la répartition de la chaleur développée par hystérésis diélectrique, qui est plus grande en haute fréquence, intervient. Cette chaleur se répartit mieux dans les isolants liquides que dans les isolants solides.

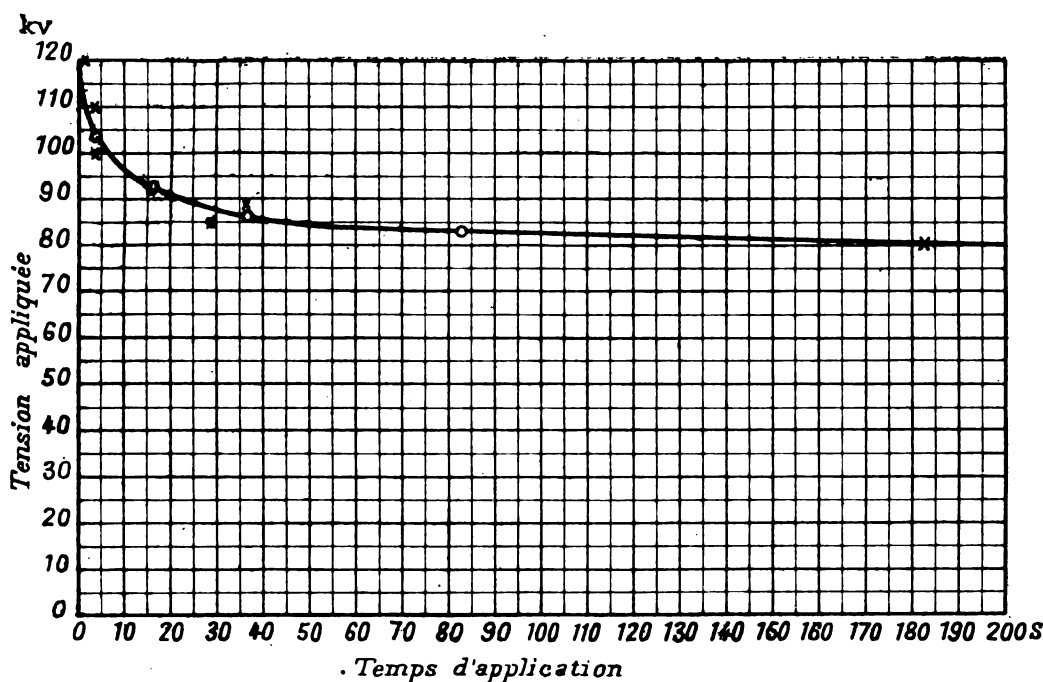


Fig. 1. — Courbe des tensions de disruptive en kilovolts en fonction de la durée d'application.

Dans le cas d'ondes dues à la fermeture brusque d'un circuit, nous nous trouvons en présence d'une tension alternative, tandis que l'étude que nous allons faire suppose que l'onde incidente a une hauteur constante. Cela revient à supposer que les phénomènes de propagation d'ondes de la période de charge sont assez rapidement amortis pour que la tension aux bornes n'ait pas le temps de varier sensiblement. La tension à l'instant initial a le temps de parvenir à l'état d'équilibre comme une tension continue avant que les phénomènes d'établissement de l'intensité, auxquels nous avons fait allusion au début de cette étude, aient pu intervenir d'une manière sensible.

Si nous supposons que le courant est à 50 p.p.s, un millième de seconde après le maximum, la tension n'a varié que de 0,10, tandis que l'onde a eu le temps de parcourir 30 km, en supposant que la vitesse dans les

enroulements soit égale à 0,10 de la vitesse dans l'air. Après un tel parcours représentant plusieurs réflexions à chaque extrémité, l'onde initiale a eu le temps de s'amortir et on est arrivé à la période quasi-stationnaire d'établissement.

III. Propagation des ondes. — Il ne suffit pas pour une étude, même approchée, de représenter un transformateur comme une simple self-induction et de lui appliquer les formules correspondantes. Il faut envisager également les capacités par rapport à la terre et entre spires. Comme première approximation, considérons seulement la capacité par rapport à la terre. Nous nous trouvons en présence d'un cas analogue à celui d'une ligne à self-induction et à capacité réparties (fig. 2).

Étudions d'abord l'instant initial. On sait qu'un con-

densateur agit au début comme un court-circuit ; l'intensité est donnée en effet par la formule

$$i_0 = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right),$$

R étant la résistance en série avec le condensateur et E , la tension à laquelle sont soumis R et C ; par contre, la résistance due à une self-induction est infinie.

Ceci provient de ce qu'une différence de potentiel ne peut s'établir instantanément entre les deux faces d'un

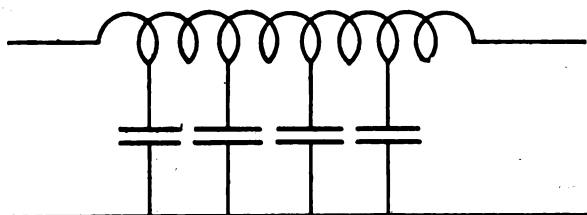


Fig. 2. — Assimilation de l'enroulement d'un transformateur à une ligne à self-induction et capacité réparties.

condensateur, et de ce que l'intensité ne peut atteindre instantanément une valeur finie dans une self-inductance.

Au début, on peut donc dire que le courant dans le transformateur passe uniquement par les capacités des spires d'entrée et de sortie, qui ont à supporter toute la tension ; puis, les capacités se chargent les unes après les autres, mais l'amplitude du choc va en diminuant. Au moment initial, les spires d'entrée et de sortie supporteraient donc chacune la moitié de la tension.

Si l'on veut avoir une idée plus précise du phénomène, il faut faire intervenir l'équation des télégraphistes. L'application de cette équation au cas qui nous intéresse a été l'objet de nombreuses critiques.

Elle suppose que les valeurs de R , L , C sont parfaitement déterminées, ce qui est vrai pour un état quasi-stationnaire comme celui d'une ligne soumise à un courant alternatif de fréquence industrielle, mais n'est qu'approximatif pour un phénomène rapidement variable, comme celui que nous étudions ; par exemple, pour R , il se produit un effet Kelvin, qui fait que le courant ne passe que dans une mince couche superficielle.

Cette équation suppose également que les différentes parties de la ligne n'ont pas d'action les unes sur les autres, ce qui est manifestement faux dans un transformateur entre les spires duquel il existe une certaine capacité et une certaine induction mutuelle.

Les équations de Maxwell et celle des télégraphistes ne donnent le même résultat que si la propagation des ondes électromagnétiques ne peut se faire que dans la direction du conducteur, ce qui n'a lieu que pour des lignes rectilignes et parallèles, et si la résistance ohmique peut être négligée, ce qui est ici pratiquement le cas.

En première approximation, si on néglige l'effet Kelvin, dans un conducteur rectiligne les ondes à front raide se déplacent sans que la forme du front se modifie ; l'amplitude diminue un peu par suite de l'amortissement et il se forme une queue derrière l'onde (fig. 3). Un calcul plus précis montre que la vitesse et l'amor-



Fig. 3. — Schéma d'une onde qui s'est allongée par l'effet de l'amortissement, le front conservant la même forme.

tissement ne sont pas les mêmes pour les différentes fréquences. La vitesse augmente avec la fréquence et tend asymptotiquement vers la vitesse de la lumière. L'amortissement croît de même avec la fréquence.

En pratique, le front peut être considéré comme restant vertical dans les cas considérés et il faut de très longues distances pour que des différences apparaissent.

Nous allons étudier s'il en est de même dans les transformateurs.

Les théories connues de la propagation et de la réflexion des ondes dans les lignes s'appliquent sans modifications, étant données les hypothèses faites au début de ce paragraphe.

Nous allons rappeler ces théories en nous limitant à l'étude d'un transformateur à vide monté en étoile avec point neutre à la terre par une résistance sans self-induction. Le mode de raisonnement serait le même pour les autres montages, la valeur des coefficients de réflexion étant seulement différente dans chaque cas.

Nous considérons deux cas :

- I. — Le transformateur est déjà couplé et une onde à front raide de hauteur E arrive sur ses bornes.
- II. — Le transformateur est hors circuit et est soumis brusquement à une tension E .

I. TRANSFORMATEUR COUPLÉ. — Supposons que la ligne sur laquelle est branché le transformateur ait une

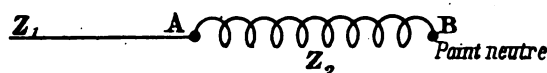


Fig. 4.

résistance d'onde Z_1 et le transformateur une résistance d'onde Z_2 (fig. 4).

On sait que

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Une onde d'amplitude E arrive en A, une partie de

l'onde est réfléchi et le facteur de réflexion est égal à

$$2q = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (1)$$

Or, Z_2 est de l'ordre de grandeur de 5 000 à 10 000 ohms et Z_1 de 500 ohms, pour une ligne aérienne; de 100 ohms, pour un câble; donc q est voisin de 1.

Une onde d'amplitude égale à $2qE$ pénètre dans le transformateur tandis qu'une onde d'amplitude égale à

$$\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} E$$

se réfléchit et s'ajoute à l'onde incidente E , donnant une amplitude totale $2qE$ égale à l'amplitude de l'onde qui pénètre. Tout se passe donc comme si une onde $2qE$ se propageait dans les deux directions (fig. 5).

Arrivée en B, cette onde directe se réfléchit avec changement de signe puisque la valeur de Z pour la résistance à la terre est égale à zéro; arrivée en A, cette onde se réfléchit avec changement de signe et le facteur de réflexion est $1 - 2q$, et on a une onde

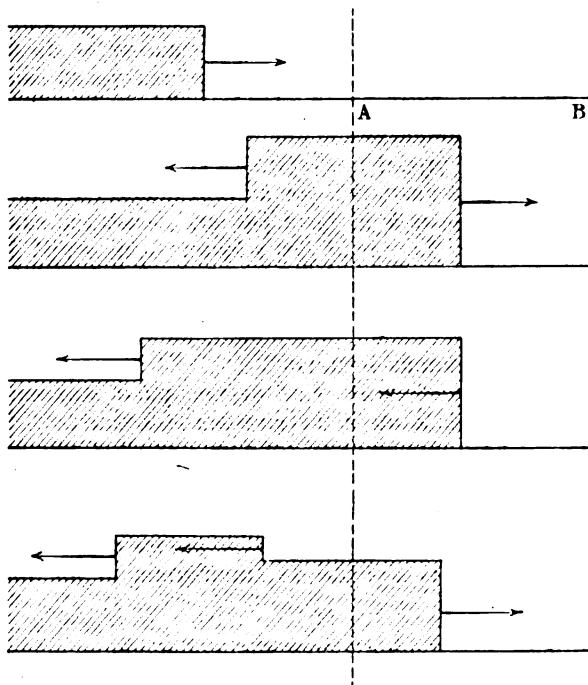


Fig. 5 et 6. — Allure de l'onde après plusieurs réflexions.

$2(1 - 2q)qE$ qui se propage encore dans les deux directions et ainsi de suite. Au bout d'un certain temps le train des ondes successives, engendrées par les différentes réflexions sur A, forme donc un escalier dont l'amplitude maximum est égale à $2E$ et dont les hauteurs des gradins sont en progression géométrique de raison $1 - 2q$, q étant peu différent de 1 (fig. 6).

(1) *La Technique moderne*, 15 novembre 1913, t. VII, n° 10, p. 344.

Nous voyons donc que toutes les spires sont soumises à la contrainte due à l'onde à front raide, qui se propage sans que sa forme soit modifiée à travers tout l'enroulement. L'amortissement étant faible, la hauteur du front d'onde diminue peu.

Le temps que met une onde partant de A pour aller à B et revenir à A est égal au temps nécessaire pour la formation d'un gradin; par conséquent, la longueur d'un gradin est égal à $\frac{v_1 2l}{v_2}$, v_1 étant la vitesse dans la ligne; v_2 , dans le transformateur.

Le rapport $\frac{v_1}{v_2}$ est environ égal à 5 ou 10; donc la longueur d'un gradin est environ égale à dix à vingt fois la longueur des enroulements d'une phase du transformateur.

II. TRANSFORMATEUR A VIDE. — L'allure des phénomènes est différente dans le cas d'une onde provenant d'une fermeture, car l'onde qui pénètre dans le transformateur a une amplitude égale à qE , c'est-à-dire à la moitié seulement de celle du cas précédent.

Le facteur de réflexion est différent dans ce cas de celui du cas précédent, car la génératrice ne peut pas fournir instantanément le courant de charge. Il faudrait, pour cela, que son état d'équilibre électrique varie instantanément, ce qui est impossible; c'est donc la ligne qui fournit le courant de charge en se déchargeant.

Cette onde se réfléchit également avec changement de signe en B, arrive en A où elle se réfléchit de nouveau avec un facteur de réflexion égal à $1 - 2q$ comme précédemment. L'onde réfléchi est donc égale à $-E(1 - 2q) = E(2q - 1)q$ et ainsi de suite. On a donc au bout d'un certain temps deux groupes d'ondes qui se déplacent dans l'enroulement en sens inverse. Ces ondes sont décalées les unes par rapport aux autres de deux fois la longueur de l'enroulement.

Les amplitudes des ondes, qui se déplacent dans la direction AB, forment une progression géométrique de raison $(2q - 1)$ et celles qui se déplacent dans la direction BA sont égales aux premières changées de signe. Naturellement, ces différentes ondes s'amortissent par suite de la résistance ohmique.

L'amplitude, en un point de l'enroulement, est égale à la somme des amplitudes des ondes qui y passent au moment considéré.

Les amplitudes des ondes se propageant dans les deux directions se compensent. Il ne reste donc que l'onde provenant de la dernière réflexion en A.

Supposons qu'une onde parte de A et ait une amplitude $(2q - 1)^n qE$, c'est-à-dire après un temps $\frac{2l}{v_1} n$ à partir de l'instant initial; cette onde arrive en P après un temps $\frac{x}{v_2}$ et le potentiel en P reste égal à $(2q - 1)^n qE$ jusqu'à ce que l'onde ait en le temps d'aller en B et de revenir en P; le potentiel devient alors

— $(2q-1)^n q E + (2q-1)^n q E = 0$, et ainsi de suite (fig. 7).

La variation du potentiel en chaque point est donc

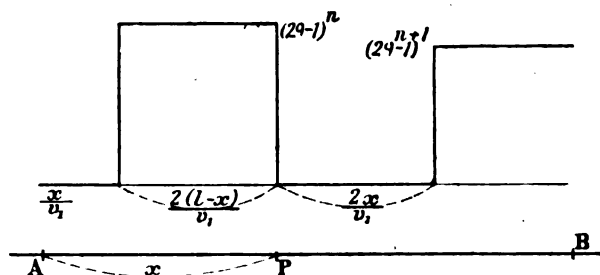


Fig. 7. — Calcul du potentiel en un point quelconque de l'enroulement.

différente et affecte la forme ci-dessous, représentant la tension en fonction du temps pour différents points (fig. 8).

IV. Influence de la capacité entre spires. — Considérons maintenant la capacité entre spires. Les

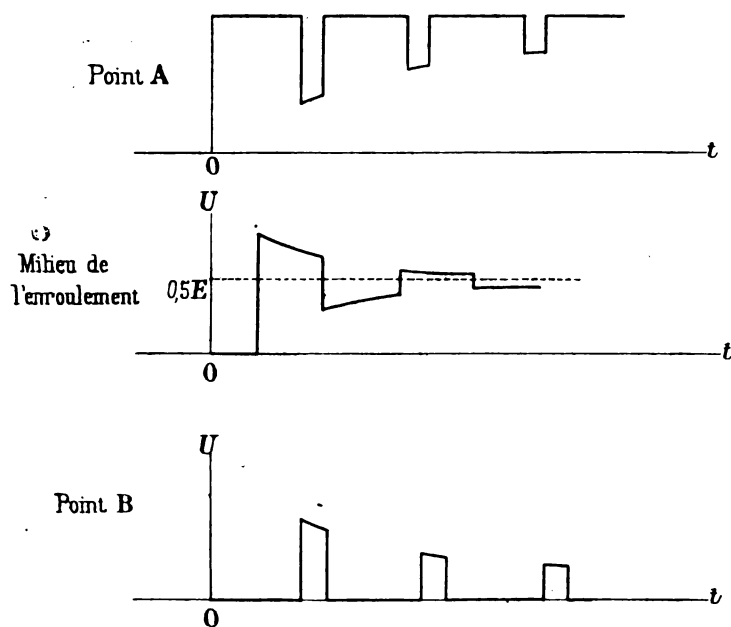


Fig. 8. — Valeurs du potentiel en quelques points particuliers de l'enroulement, en fonction du temps.

inductances et les capacités entre spires sont en dérivation (fig. 9).

Puisqu'à l'instant initial les capacités agissent comme des courts-circuits et les inductances comme des résistances infinies, il suffit de considérer les capacités. Celles-ci se chargent instantanément et l'intensité initiale est considérable, mais ce choc est de courte durée. On se trouve en présence du même problème que pour la répartition de la tension dans une chaîne d'isolateurs.

L'équation différentielle qui donne la solution du problème est

$$\frac{d^2 U}{dx^2} = \frac{C}{c} U;$$

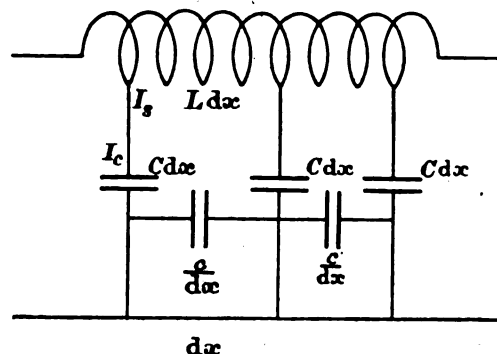


Fig. 9. — Schéma de la répartition des capacités entre spires du transformateur.

d'où

$$U = E \frac{\sinh \alpha (l-x)}{\sinh \alpha l}, \quad (1)$$

où l représente la longueur totale de l'enroulement; U , le potentiel d'un point situé à la distance x de la borne d'entrée et

$$\alpha = \sqrt{\frac{C}{c}},$$

(courbe I fig. 10), c étant la capacité entre spires et C , la capacité par rapport à la terre, toutes deux prises par unité de longueur; la contrainte maximum a lieu pour $x = 0$ et est égale à $-\frac{E}{l} \alpha \cotg \alpha l$.

Nous voyons donc que la raideur du front de l'onde diminue quand elle pénètre dans le transformateur, et que la fatigue des premières spires est d'autant plus faible que α est plus petit. L'allure des phénomènes est donc différente du cas précédent. Quand les capacités sont chargées, les inductances interviennent et la répartition du potentiel se modifie progressivement (courbe II, fig. 10) pour arriver à une répartition rectiligne, quand l'état permanent est atteint (courbe III, fig. 10).

V. Ondes rectangulaires. — Pour étudier la propagation d'une onde rectangulaire, on peut la décomposer, au moyen du théorème de Fourier, en une série d'ondes sinusoïdales, dont les longueurs d'ondes sont des sous-multiples de la longueur de l'enroulement, se superposant à l'état d'équilibre représenté par la courbe III, et on étudie la propagation de chacune de

ces ondes dans l'enroulement. Pour faciliter les calculs, on néglige l'action des spires les unes sur les autres. L'intervention de l'induction mutuelle M rendrait les calculs inextricables ; aussi profite-t-on du fait qu'entre deux spires voisines l'intensité est peu différente pour faire entrer M dans L ; M n'est plus qu'une faible cor-

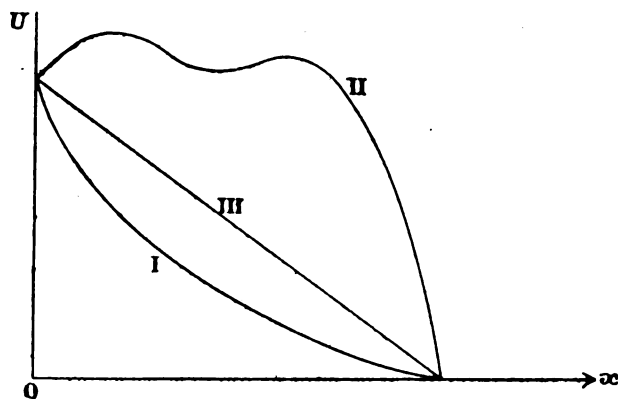


Fig. 10. — Différentes courbes montrant les changements de tension de l'onde engagée dans le transformateur.

rection pour la différence des intensités. La concordance des résultats de l'expérience avec la théorie montre que cette correction intervient peu et que l'approximation est légitime.

Nous supposons de même le secondaire du transformateur ouvert et nous négligerons son influence.

Pour les harmoniques à front raide, la différence entre la valeur du courant en deux points voisins est plus forte ; par conséquent les actions locales sont plus considérables et, quand la fréquence augmente, on s'éloigne de plus en plus du cas de la propagation dans les lignes rectilignes.

Le calcul montre et l'expérience confirme que tous ces harmoniques ne traversent pas les enroulements dans les mêmes conditions. Ils sont d'autant plus amortis que leur fréquence est plus élevée ; leur vitesse tend en même temps vers zéro, la fréquence tendant vers une limite finie quand la longueur d'onde tend vers zéro.

L'amplitude A_k de l'harmonique d'ordre k tend rapidement vers zéro, quand k augmente.

Cette fréquence limite est égale à la fréquence d'une spire

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{Lc}},$$

(L étant la self-induction d'une spire et c , la capacité entre deux spires).

Pour une onde de forme rectangulaire, on considère la somme des amplitudes des harmoniques de la série de Fourier au point et à l'instant considérés. On obtient une courbe ayant l'allure de la courbe II (fig. 10).

La raideur de l'onde totale est donc diminuée et la

contrainte à laquelle est soumis l'isolement diminue à partir de la borne d'entrée, ce qui est conforme au fait que ce sont généralement les premières spires qui sont avariées.

Si on néglige les résistances ohmiques, on peut retrouver ce résultat sans trop de difficultés. Supposons que les capacités entre spires soient en parallèle avec la self-induction et soit I_c le courant de capacité ; I_s , le courant d'induction ; I , le courant total. Entre deux points situés à une distance dx , la différence de potentiel est

$$\frac{\partial U}{\partial x} dx,$$

et la variation de courant est de

$$\frac{\partial I}{\partial x} dx.$$

On a

$$I = I_s + I_c, \quad -\frac{\partial I}{\partial x} = C \frac{\partial U}{\partial t},$$

$$I_c = -c \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial t}, \quad -\frac{\partial U}{\partial x} = L \frac{\partial I_s}{\partial t},$$

L , C , c étant pris par unité de longueur (fig. 9).

En éliminant les intensités de proche en proche, on obtient l'équation

$$LC \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + cL \frac{\partial^4 U}{\partial x^2 \partial t^2}, \quad (2)$$

Cette équation se déduit de l'équation de propagation par l'introduction du terme

$$cL \frac{\partial^4 U}{\partial x^2 \partial t^2}.$$

Considérons une oscillation propre du transformateur ; le potentiel est nul au point $x = 0$, et au point $x = l$; il est donc de la forme

$$U = A_k \sin \frac{k\pi x}{l} \cos \omega t,$$

où k est un nombre entier quelconque. Posons

$$\frac{k\pi}{l} = \Lambda,$$

on obtient, en portant dans (2), la relation

$$-c\Lambda^2\omega - \frac{\Lambda^2}{L\omega} = c\omega,$$

d'où

$$\omega = \frac{\Lambda}{lc} \frac{2}{\sqrt{\Lambda^2 + \alpha^2}},$$

qui tend vers

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{Lc}},$$

quand Λ tend vers l'infini, c'est-à-dire quand λ tend vers 0, ce qui est bien conforme aux résultats énoncés ci-dessus.

VI. Ondes sinusoïdales. — Les ondes sinusoïdales arrivant sur le transformateur et dont la fréquence est inférieure à la fréquence critique, se propagent dans les enroulements presque comme dans une ligne à self-induction et capacité réparties. Au contraire, au-dessus de la fréquence critique, les ondes se propagent surtout par capacité à travers l'isolant qui sépare les spires.

Les phénomènes de propagation d'une onde sinusoïdale dans les enroulements peuvent donc se décomposer en deux parties, l'une sinusoïdale avec un certain amortissement, l'autre ayant une répartition apériodique. Suivant que la fréquence est inférieure ou supérieure à la fréquence critique, le premier terme ou le deuxième est prédominant. (fig. 11).

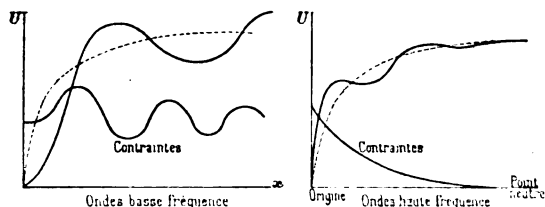


Fig. 11. — Décomposition de l'onde de propagation en deux termes : l'un sinusoïdal, l'autre apériodique.

Pour se rendre compte des faits rapidement, on peut mettre U sous la forme

$$U = f(x) \cos \omega t,$$

En introduisant cette valeur dans l'équation (2) on obtient facilement l'équation

$$\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} + \frac{LC\omega^2}{1 - LC\omega^2} f(x) = 0,$$

qui est facile à résoudre. Posons

$$\frac{LC\omega^2}{1 - LC\omega^2} = -A;$$

l'intégrale générale est

$$f(x) = K_1 e^{-\sqrt{A}x} + K_2 e^{+\sqrt{A}x}.$$

Pour simplifier la détermination des constantes, supposons que la longueur de l'enroulement soit infinie : Cette hypothèse modifie la valeur de ces constantes, mais non l'allure générale des résultats.

Pour $x = \infty$, on a $f(x) = 0$, donc $K_2 = 0$;

Pour $x = 0$, on a $f(x) = E$, donc $K_1 = E$.

Si $A > 0$, c'est-à-dire $\omega > \frac{1}{\sqrt{Lc}}$ (ondes à haute fréquence),

$$U = E e^{-\sqrt{A}x} \cos \omega t;$$

\sqrt{A} est d'autant plus petit que ω est plus grand ; la limite est $\frac{C}{c}$ pour $\omega = \infty$. On retombe dans ce cas sur l'équation (1) représentant les phénomènes à l'instant initial.

Si $A < 0$, c'est-à-dire $\omega < \frac{1}{\sqrt{Lc}}$ (ondes à basse fréquence),

$$U = E e^{-j\sqrt{-A}x} \cos \omega t,$$

c'est-à-dire

$$U = E \cos (\omega t - \sqrt{-A}x).$$

L'équation est analogue, dans ce deuxième cas, à celle de la propagation dans une ligne ordinaire, l'une se déduisant de l'autre par le remplacement du coefficient

$$\frac{LC\omega^2}{1 - LC\omega^2}$$

par $\omega^2 LC$ correspondant à $c = 0$.

Si $A = 0$ c'est-à-dire $\omega = \frac{1}{\sqrt{Lc}}$, le transformateur est en résonance sur sa capacité propre.

La considération des résistances introduirait dans la valeur de U un coefficient de la forme e^{-bt} , b étant une fonction des résistances ohmiques.

Steinmetz n'avait considéré que la capacité entre spires et il montrait qu'elle est très nuisible dans les transformateurs. Il est évident que, si la capacité entre spires ou la fréquence sont très grandes, la propagation se fait surtout à travers l'isolant, car la valeur de $\frac{1}{c\omega}$ est alors très faible.

L'onde se propage alors presque sans déformation puisque le terme exponentiel

$$e^{-\sqrt{A}x} = 1$$

quand $C = 0$.

L'équation (1) montre qu'à l'instant initial le potentiel de la dernière spire est égal approximativement à $U = 2 E e^{-\alpha t}$ pour les valeurs normales de α . Le rapport α n'est jamais assez petit dans la pratique pour que la valeur de U soit dangereuse et il y a intérêt à la diminuer autant que possible bien que théoriquement il existe une valeur optimum,

VI. Confirmation des théories précédentes par l'expérience. — Rüdenberg a fait des expériences sur un moteur asynchrone avec rotor ouvert. Evidemment, les capacités ne sont pas analogues à celles d'un transformateur, car les fils sont dans le fer à certains endroits, mais les résultats confirment les conclusions énoncées précédemment, ce qui s'explique si on remarque que les fils étant en paquets ont sensiblement la même capacité; ils correspondent donc au schéma de l'enroulement d'un transformateur.

Le moteur étudié était un moteur de 1 100 kw, 5 000 v, 1 500 t : mn. On mesurait la différence de potentiel entre spires au moyen de connexions supplémentaires faites en différents points des enroulements et en mesurant la limite inférieure des distances entre deux pointes, pour lesquelles on obtenait des étincelles.

L'étalonnage étant fait avec une différence de potentiel continue, les tensions vraies étaient en réalité plus fortes que celles données par les mesures.

Böhm a relevé, par un procédé analogue, les courbes de propagation dans un transformateur industriel à refroidissement dans l'air.

Les résultats trouvés par ces deux auteurs ont l'allure des courbes de la figure 2.

Böhm a trouvé que, pour les ondes à base fréquence, la contrainte maximum ne se trouve pas à l'entrée, mais en un point situé à environ $\lambda/4$ plus loin (fig. 11).

Ces indications, malgré les approximations qu'on est obligé de faire, éclairent tout de même le problème et montrent qu'il y a lieu de faire α aussi petit que possible. Pour les valeurs pratiques de α , on peut admettre que $\coth \alpha = 1$; d'où

$$\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)_{x=0} = -\frac{E}{l} \alpha.$$

On voit donc facilement l'influence de α sur la contrainte à laquelle sont soumises les spires d'entrée pour une surtension de valeur E . Bien que α soit généralement plus grand que 1 000, le front de l'onde s'aplatit progressivement.

H. MASSING.

Ingénieur au Service électrique
des Mines domaniales de la Sarre.

Revue, analyses et informations

Sur la réception des ondes entretenues par modulation (1).

Nous reproduisons ci-après une note de M. R. JOCAUST, présentée à une des dernières séances de l'Académie des Sciences.

Les détecteurs utilisés pour la réception en radiotélégraphie ont un rendement très faible. Leur fonctionnement diffère notablement, en effet, de celui du redresseur théorique qui laisserait passer totalement une des ondes du courant alternatif et arrêterait complètement l'autre : pratiquement l'intensité du courant redressé n'est qu'une faible fraction de l'amplitude du courant alternatif total qui traverse le détecteur.

Le procédé de modulation que nous allons décrire et qui permet la réception des ondes entretenues est basé sur un principe différent de celui de la détection.

La modulation à la réception consiste à faire varier périodiquement par un dispositif quelconque l'intensité du courant dans les organes récepteurs.

Soit $I_m \sin \omega t$ l'intensité du courant qui circulerait normalement dans un appareil de réception. Si ce courant est modulé avec une fréquence $\frac{\omega'}{2\pi}$, son intensité est de la forme

$$I_m \sin \omega' t \sin \omega t = \frac{I_m}{2} \cos (\omega - \omega') t + \frac{I_m}{2} \cos (\omega + \omega') t$$

et, si ω' est voisin de ω , le courant de pulsation $\omega - \omega'$ est

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 3 janvier 1922, t. CLXXIV, p. 35.

de la fréquence musicale. On obtient donc ainsi un courant audible au téléphone dont l'amplitude dans le cas d'une modulation complète est la moitié de celle du courant qui circule dans les organes récepteurs.

De même qu'il n'existe pas de détecteurs parfaits, de même il n'est pas possible de produire une modulation complète; mais, avec ce nouveau procédé de réception, on peut se rapprocher bien davantage des conditions théoriques de fonctionnement optimum.

On sait déjà que dans le cas de la modulation à basse fréquence, utilisée à la transmission en radiotéléphonie, le courant de l'antenne est presque complètement modulé à la fréquence de la voix.

La modulation à haute fréquence à la réception se réalise très facilement à l'aide de la lampe à trois électrodes.

La différence de potentiel aux bornes de l'appareil récepteur (amplifiée ou non) est appliquée entre le pôle négatif du filament et la grille. Une différence de potentiel de haute fréquence est appliquée entre le filament et la plaque.

Cette différence de potentiel de haute fréquence s'obtient en réunissant, d'une part, la plaque, d'autre part, le filament aux bornes du condensateur d'une hétérodyne ordinaire. Le téléphone récepteur est intercalé sur l'un des conducteurs assurant cette jonction. Il n'est nullement nécessaire qu'une différence de potentiel continue existe entre la plaque et le filament. Les résultats obtenus avec ce dispositif se sont montrés plus avantageux que ceux fournis par une lampe montée sur détecteur et dans laquelle venaient se superposer les ondes à recevoir et celles provenant d'une hétérodyne locale. C'est ainsi qu'à Paris on pouvait avec une seule lampe recevoir lisiblement dans un cadre de 2 m les transmissions du poste de Lyon, alors qu'elles étaient à peine sensibles avec une lampe identique montée sur détecteur.

SECTION INDUSTRIELLE

La production et l'utilisation de la vapeur

Dans le numéro du 23 avril 1921, t. IX, p. 574-584, nous avons reproduit la première partie du rapport présenté par V. Kammerer au nom de la première sous-commission de la Commission d'Utilisation du Combustible, instituée par décret du 14 mars 1920 du ministre des Travaux publics en vue de rechercher les économies réalisables dans la consommation des combustibles. La deuxième partie de ce rapport vient d'être publiée dans le « Journal officiel » du 21 décembre 1921; nous la reproduisons ci-dessous ainsi que le rapport de la Commission qui en donne l'analyse. — Rappelons à ce propos les divers documents émanant de la Commission d'Utilisation des Combustibles et insérés dans ces colonnes. Ce sont : Premier rapport de la Commission, Rapport de la deuxième sous-commission sur l'utilisation du bois de chauffage comme combustible industriel, Vœux de la Commission concernant le bois de chauffage et le charbon de bois, reproduits dans le numéro du 11 décembre 1920, t. VIII, p. 847 à 853; Deuxième rapport de la Commission, Rapport de la première sous-commission sur la production et l'utilisation de la vapeur, reproduits dans le numéro du 23 avril 1921, t. IX, p. 574 à 584; Troisième rapport de la Commission, Rapport de la troisième sous-commission sur le chauffage au charbon pulvérisé, reproduits dans les numéros des 28 mai, 4 et 11 juin 1921, t. IX, p. 768 à 771, 817 à 824 et 856 à 863; Quatrième rapport de la Commission, Rapport de la première sous-commission sur la technique actuelle des machines à vapeur, reproduits dans les numéros des 29 octobre et 5 novembre 1921, t. X, p. 607 à 617 et 632 à 643.

Cinquième rapport de la Commission d'Utilisation du Combustible

Tout d'abord, il faut transporter la vapeur; le rapport débute donc par des observations au sujet des tuyauteries, dans lesquelles il importe d'éviter autant que possible, non seulement tout déchet de quantité, mais tout amoindrissement de qualité du précieux fluide.

Les principales applications de celui-ci sont ensuite passées en revue, en analysant pour chacune d'elles les conditions théoriques et pratiques de la meilleure utilisation.

Ainsi qu'il convient, la première des applications envisagées est la production de la force motrice. Tant pour les machines alternatives que pour les turbines, les divers facteurs d'économie : pression, surchauffe, vide au condenseur, distribution ou canalisation du fluide, réduction des actions de paroi, augmentation de la puissance unitaire, font l'objet d'une discussion où les données de la thermodynamique et les constatations de l'expérience s'éclairent par leur rapprochement.

Mais cette application est loin d'être la seule. A côté du rôle éminent qu'elle a joué pendant tout le dix-neuvième siècle et qu'elle joue encore comme agent de la transformation partielle de la chaleur en travail, la vapeur d'eau sert comme agent de transmission de la chaleur dans une multitude d'opérations : chauffages de toute espèce, étuvage, cuisson, séchage, distillation, concentration par évaporation, etc.

Sur ce terrain varié d'applications, l'économie de vapeur n'a pas toujours été poursuivie avec autant de soin et d'art que dans le domaine de la machine motrice. Le rapport de M. Kammerer met en évidence, pour chaque genre d'opération, les conditions propres à assurer le succès du procédé et son bon rendement thermique.

Au nombre des opérations envisagées est le séchage par l'air chaud. Ce système de séchage n'est pas par essence un

mode d'emploi de la vapeur; il le devient toutefois lorsque l'air est chauffé au moyen de radiateurs à vapeur. D'autre part, c'est sous forme de vapeur que l'air emporte l'humidité de la matière à sécher. On notera, entre autres observations présentées sur ce procédé, celles relatives à l'utilité d'un chauffage intérieur du séchoir.

Une même vapeur, passant par degrés d'un état initial de haute pression et haute température à un état final de basse pression, peut accomplir au cours de sa détente plusieurs fonctions successives. Depuis bien longtemps, pour la production de la force motrice, cette utilisation en cascade caractérise la machine à multiple expansion. De même, la vapeur d'échappement d'un moteur peut être envoyée dans un second moteur fonctionnant entre la pression d'échappement du premier et le vide d'un condenseur; on sait le service que rendit M. Rateau aux exploitants de mines et aux maîtres de forges, à une époque où les machines d'extraction et les machines de laminoirs étaient presque toutes à vapeur, en associant à ces machines (auxquelles l'intermittence du travail avait fait conserver l'échappement libre) des accumulateurs suivis de turbines à basse pression. On peut aussi associer en série une machine motrice et un système de chauffage, ou plusieurs chauffages entre eux. Le rapport de M. Kammerer met en évidence la variété et l'économie des solutions auxquelles s'adapte ce principe.

Il montre en particulier que, lorsqu'une machine motrice fonctionnant à contre-pression forme le premier échelon de la cascade, il ne faut pas craindre de fixer la contre-pression à une valeur aussi élevée que l'exige l'utilisation ultérieure de la vapeur, car, si cette utilisation ultérieure est bonne, la force motrice se trouve ainsi produite d'une manière remarquablement avantageuse.

Il va sans dire que l'utilisation en cascade, quelle qu'en soit la modalité, peut être d'un rendement d'autant plus

élevé que la détente totale de la vapeur est plus ample et aboutit à une plus basse température finale ; d'où l'intérêt, en particulier, des systèmes de chauffage par le vide.

Dans les appareils évaporatoires à multiple effet, ce n'est pas matériellement la même vapeur qui se détend de caisse en caisse, mais la chaleur dégagée dans chaque caisse par la condensation de la vapeur venant de la caisse précédente se retrouve, aux pertes près, dans la vapeur allant à la caisse suivante : de sorte que, si ce n'est pas précisément au fluide lui-même, c'est à l'énergie calorifique qu'est appliqué le principe de l'utilisation en cascade.

Enfin, en parallèle avec cette dégradation progressive, M. Kammerer met la régénération par compression mécanique. Dans un appareil évaporatoire, la vapeur qui se dégage du liquide en élaboration ne saurait servir au chauffage de l'appareil lui-même, parce qu'elle est à une température insuffisante : mais on peut l'amener à la température utile par une compression qui, si le relèvement de température est de faible amplitude, n'absorbe que peu de travail. La chaleur, sortie dégradée de l'appareil, y rentre valorisée ; et, à la condition expresse que le travail ne coûte pas trop cher, on dispose ainsi d'un procédé extrêmement intéressant d'auto-évaporation.

Au premier abord, il semble y avoir là quelque chose de paradoxal. Elever la température d'une vapeur par compression mécanique, cela équivaut à transporter de la chaleur d'un corps froid sur un corps chaud, moyennant une dépense de travail. Tout le monde sait bien que ce transport est possible ; mais comment peut-il être économique, alors que, d'une manière générale, le travail a plus de valeur que la chaleur ?

Pour éclaircir la question, imaginons le cas idéal d'une machine de Carnot intercalée entre deux sources, dont l'une est à une température absolue T_1 , l'autre à une température absolue T_2 , moindre que T_1 . Étant réversible, cette machine peut fonctionner à rebours, prendre une quantité de chaleur Q_2 à la source T_2 et fournir une quantité de chaleur Q_1 à la source T_1 , en absorbant un travail J qui, évalué en calories, est égal à $Q_1 - Q_2$. On a

$$\frac{Q_1}{J} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}.$$

Toujours supérieur à 1, ce rapport est d'autant plus grand que l'écart $T_1 - T_2$ est moindre. Il croîtrait sans limite si $T_1 - T_2$ tendait vers zéro.

Rapport de la première sous-commission sur la production et l'utilisation de la vapeur.

Deuxième partie. Utilisation de la vapeur.

Les emplois de la vapeur d'eau dans l'industrie sont extrêmement variés ; on peut même prétendre que la vapeur constitue l'agent de transmission, d'échange et de transformation, de la chaleur le plus souple et le plus précieux que nous possédions. Nous la trouvons comme fluide moteur des machines et turbines à vapeur depuis les puissances les plus faibles jusqu'aux plus élevées ; elle est aussi l'auxiliaire presque indispensable de la plupart des industries chimiques, de celles de l'alimentation et du vêtement ; elle sert enfin à des chauffages de toute sorte, soit directement, soit indirectement.

Dans toutes ces opérations, la vapeur cède une partie plus ou moins grande de l'énergie provenant de la chaleur qui lui a été transmise par le générateur. En étudiant la façon dont la vapeur est produite dans ce dernier, nous avons considéré

Cela posé, admettons que, à cause de la basse température T_2 la chaleur Q_2 soit sans valeur aucune, tandis qu'au contraire la chaleur Q_1 est utilisable. On peut dire, dès lors, que l'on obtient toute la valeur de la chaleur Q_1 moyennant la seule dépense du travail J . Cette dépense dépend des moyens de production de travail mécanique dont on dispose. Mais comme, d'autre part, le rapport de Q_1 à J , lorsqu'on les évalue tous deux en calories, est d'autant plus grand que $T_1 - T_2$ est moindre, il n'y a rien que de naturel à ce que l'opération soit économique lorsque l'unité de travail revient à bon marché et que le relèvement de température est de faible amplitude.

On voit que, dans les hypothèses ci-dessus, le travail dépensé n'agit pas simplement en dégageant son équivalent de chaleur, mais en remontant le niveau de température d'une énergie calorifique qui, au niveau inférieur, est inutilisable et à laquelle il suffit d'un faible appoint pour donner, non pas une simple augmentation de valeur d'utilisation, mais toute la valeur d'utilisation qu'elle aura dans l'état nouveau.

Ce cas se présente, en particulier, dans les opérations industrielles où la chaleur est employée à provoquer un phénomène qui se produit à température fixe et qui, par suite, pour une faible différence de température de la vapeur de chauffage, a lieu ou n'a pas lieu. L'un des phénomènes typiques de ce genre est précisément l'évaporation, sous une pression constante, d'un liquide de nature déterminée.

Les calculs et les observations de M. Kammerer sont d'ailleurs de nature à mettre l'esprit en garde contre les illusions, au sujet des autres applications possibles de cette régénération mécanique de la chaleur, qui cependant, à la condition d'être bien comprise et judicieusement employée, n'a sans doute pas dit son dernier mot.

D'un point de vue général, l'ensemble du rapport de M. Kammerer, indépendamment des conclusions précises et pratiques auxquelles il aboutit, met très utilement en lumière l'importance qu'il convient d'attacher à la notion de qualité de la vapeur ou de la chaleur. Sans doute, cette notion est familière aux physiciens, accoutumés à voir, dans une quantité de chaleur, le produit d'une température absolue par une variation d'entropie. Mais l'entropie est une abstraction sur laquelle l'imagination n'a guère de prise. Il importe, pour bien apprécier, dans les cas concrets, les questions de production et d'utilisation de la vapeur, de ne jamais perdre de vue l'influence de la température sur la valeur des quantités de chaleur reçues ou fournies.

surtout le rendement en quantité, c'est-à-dire le rapport de la quantité de chaleur absorbée par le fluide à celle dégagée par la combustion du combustible, sans nous préoccuper, au moins explicitement, de la qualité de l'énergie calorifique. Cette simplification, qui pouvait se justifier parce que l'écart entre la température de combustion et celle de la vapeur est très grand et que l'emploi de réchauffeurs d'eau ou d'air permet d'épuiser les gaz de la combustion quelle que soit la température de la vapeur produite, n'est plus permise lorsqu'on passe à l'utilisation de la vapeur. En effet, ses divers modes d'emploi mettent en jeu des propriétés différentes, telles que sa force élastique, sa température, sa chaleur latente ou sa chaleur totale, et dans les échanges de chaleur les écarts de température sont plus faibles. Il faudra donc, à côté de la quantité de chaleur susceptible d'être fournie par la vapeur, tenir compte de la qualité de celle-ci.

Par quoi est caractérisée la qualité de la vapeur? La réponse à cette question ne peut être unique et générale, car divers facteurs peuvent la déterminer suivant les résultats que l'on cherche à atteindre. Ce sera tantôt la pression, tantôt la température, souvent les deux à la fois et, dans certains cas, le titre ou la proportion d'eau qu'elle contient. Si, lorsqu'il s'agit de vapeur saturée sèche, il est indifférent de définir la qualité par la pression ou par la température, ces deux propriétés étant liées entre elles d'une façon invariable, il n'en est plus de même lorsqu'on a affaire à de la vapeur surchauffée, dont la température est indépendante de la pression.

C'est en particulier pour la transformation de la chaleur en travail mécanique que la qualité de la vapeur intervient; de telle sorte qu'une même quantité de vapeur, selon qu'elle sera à tel ou tel état de pression et de température, ne rendra pas en travail, une même fraction de la chaleur qui lui aura été fournie pour l'amener à cet état. Ainsi, la faculté qu'a la vapeur de fournir du travail par expansion croît rapidement avec la pression, alors que la quantité de chaleur supplémentaire qu'il faut dépenser pour obtenir cette vapeur à plus haute pression est faible. Convenons, selon l'usage, d'appeler chaleur totale de 1 kg de vapeur, la quantité de chaleur reçue par le kilogramme de fluide passant, suivant le « chemin » ordinaire, de l'état d'eau à 0° à l'état de la vapeur considérée. Le kilogramme de vapeur saturée a pour chaleur totale :

- 640 calories à la pression atmosphérique ;
- 660 calories à la pression absolue de 6 kg/cm² ;
- 667 calories à la pression absolue de 11 kg/cm² ;
- 671 calories seulement à celle de 16 kg/cm².

La différence entre les notions de qualité et de quantité est encore plus frappante lorsque l'on considère la vapeur surchauffée à température déterminée et à pression variable. En effet, la chaleur totale de cette vapeur, loin d'augmenter, diminue lorsque la pression augmente. A la température de 250°, par exemple, elle est de :

- 713 calories pour une pression absolue de 1 kg/cm² ;
- 709 calories pour une pression de 6 kg/cm² ;
- 704 calories pour une pression de 11 kg/cm² ;
- 700 calories pour une pression de 16 kg/cm².

alors que l'énergie disponible par détente augmente d'une manière importante avec la pression.

La fraction de la chaleur totale de la vapeur, qui est susceptible d'être transformée en travail mécanique, constitue la partie la plus précieuse de cette chaleur totale. Par conséquent, si l'on veut tendre à une utilisation rationnelle de la vapeur, il faudra produire celle-ci de qualité aussi bonne que possible, c'est-à-dire à une pression et à une température aussi élevées que les circonstances et les appareils dont on dispose le permettent, puis, au cours de sa transmission et de ses différents emplois, il y aura lieu d'éviter non seulement les pertes de chaleur par fuites, condensation et refroidissement, mais aussi tout ce qui pourra la dégrader et la rendre moins apte à l'utilisation envisagée, même si cette dégradation n'entraînait aucune diminution de la quantité de chaleur.

TRANSPORT DE LA VAPEUR. — Le transport de la vapeur dans les conduites nous fournit un exemple d'application du principe précédent, auquel il peut y avoir intérêt à s'arrêter un instant. Le transport donne lieu à des pertes de chaleur par suite du refroidissement extérieur (se traduisant pour la vapeur par un abaissement de température ou par une condensation partielle) et à des pertes de charge produisant une diminution de la pression.

La perte de chaleur et la perte de charge varient en sens

inverse l'une de l'autre lorsque, à débit de vapeur égal, on modifie le diamètre de la conduite. La première croît avec le diamètre; la seconde, au contraire, décroît quand le diamètre augmente, et cela très rapidement, à savoir, en raison de la cinquième puissance du diamètre. Il y aura donc, en général, entre les faibles vitesses correspondant à de grands diamètres et de grandes pertes de chaleur et les grandes vitesses et faibles diamètres correspondant à de fortes pertes de charge, un diamètre et une vitesse optima qu'il conviendra de choisir pour obtenir le meilleur rendement de la conduite.

Cette vitesse pourra être très différente, suivant qu'il s'agira d'un transport de vapeur pour des chauffages ou usages analogues ou qu'il s'agira d'une production de force motrice. Dans le premier cas, il sera logique, afin de réduire au minimum les pertes de chaleur, de diminuer le diamètre et d'augmenter la vitesse, jusqu'à la limite pratiquement admissible, sous la seule réserve d'avoir encore au bout de la conduite la pression strictement indispensable pour le fonctionnement du système de chauffage. On adopte dans ce sens déjà aujourd'hui des vitesses de 30 à 50 m/s et plus. Dans le second cas, la question est plus complexe: il importe de conserver le mieux possible la qualité essentielle résidant dans la pression de la vapeur, tout en tenant compte de ce que les pertes de chaleur résultant du refroidissement extérieur de la conduite se traduisent, pour la vapeur surchauffée, par une diminution de surchauffe, pour la vapeur saturée par une condensation partielle. La vitesse optimum sera dans ce cas, celle pour laquelle la perte de travail disponible passera par un minimum.

Le diamètre d'une conduite de vapeur n'est pas seul en cause pour produire la perte de charge. Les changements brusques de direction, surtout ceux qui se produisent dans les valves à soupapes, clapets d'arrêt et autres appareils analogues, donnent lieu à de notables chutes de pression, et il convient de réduire dans les conduites des machines ou turbines le nombre de ces appareils au strict nécessaire. Les vannes à passage rectiligne les remplacent utilement, parce qu'elles ne présentent pas le même inconvénient.

La perte de chaleur d'une conduite non isolée est proportionnelle à sa surface, à l'écart entre la température du métal (laquelle est sensiblement égale à celle de la vapeur) et la température ambiante et, en outre, à un coefficient de transmission qui dépend un peu de la vitesse de la vapeur et de sa densité, mais surtout de la température et du mouvement de l'air qui entoure la conduite. Dans une atmosphère calme, chaque mètre carré de conduite nue occasionne une perte horaire d'environ 1200 calories pour une différence de température de 90 à 100° (basse pression), montant au double pour une différence d'environ 150° et à plus de 5000 calories pour de la vapeur surchauffée avec une différence de température de 300°.

Cette perte peut être réduite au tiers, au quart et même davantage, en enveloppant les conduites de matières isolantes, appelées communément calorifuges.

Un isolant est d'autant plus efficace que son épaisseur est plus forte et que sa conductibilité calorifique est moins élevée; celle-ci augmente d'ailleurs avec la température.

Les matières employées comme isolants dépendent des températures auxquelles elles ont à résister. Pour les basses températures, c'est le liège et les matières textiles, laine, coton, bourre de soie; pour les températures élevées, l'amiante, la magnésie et la terre d'infusoires. La qualité des isolants varie, toutes choses égales d'ailleurs, en raison inverse de leur densité et on a intérêt à choisir les plus légers.

Quant à l'épaisseur, il ne faut pas hésiter à la prendre suffisante; elle doit être d'autant plus forte que la tempéra-

ture est plus élevée et que le diamètre de la conduite est plus grand. Sur des conduites de 100 à 200 mm de diamètre, l'épaisseur de l'isolant ne devrait pas être inférieure à 50 mm pour de la vapeur saturée et à 70 mm pour de la vapeur à 300°.

En résumé, sauf pour les tout petits diamètres, inférieurs à 2 cm par exemple, où l'augmentation de surface compense, dans une certaine mesure, l'effet de l'isolant, l'isolation des conduites de vapeur s'impose dans tous les cas et devrait être appliquée, au moins pour les températures élevées, non seulement aux conduites elles-mêmes, mais, sous forme d'enveloppes mobiles, également à la plupart des joints, valves et autres appareils intercalés dans les conduites.

On peut compter, en l'état actuel des prix, que les dépenses de l'isolation sont amorties par l'économie de combustible, après une durée de 600 à 1 200 heures de marche effective, c'est-à-dire en quelques mois.

Il est utile que tous les appareils annexes des conduites tels que les séparateurs d'eau, purgeurs, etc., soient, comme les conduites elles-mêmes, l'objet de soins d'isolation.

Il faut éviter, autant que possible, de faire passer les conduites à l'air libre, où les pertes de chaleur sont augmentées en fonction du mouvement de l'air et où l'entretien de l'isolant est rendu plus difficile et plus coûteux par l'effet des intempéries.

Quant aux parties des conduites ou appareils qui, pour une raison ou une autre, ne peuvent pas être isolés, on devrait au moins les enduire d'une peinture métallique résistante à la chaleur, laquelle diminue considérablement, sinon la convection, du moins le rayonnement et est susceptible, d'après des essais faits en Amérique, de réduire de plus de 25 pour 100 la perte de chaleur.

Les purgeurs constituent un point faible des conduites de vapeur et occasionnent souvent des pertes de vapeur considérables. Un principe qui nous paraît recommandable, c'est d'en placer le moins possible, en groupant, par exemple, plusieurs conduites de purge, mais, par contre, de les choisir de bonne construction et de grandes dimensions et de les entretenir soigneusement. Des tuyaux de dérivation, appelés aussi *by-pass*, facilitent beaucoup cet entretien en permettant le remplacement, en marche, d'un appareil défectueux par un autre de réserve. L'eau de condensation provenant des purges, qui a l'avantage d'être chaude et pure, devra être récupérée et employée chaque fois que ce sera faisable, soit sur place, soit en la renvoyant aux chaudières.

Si tout appareil en service doit être entretenu, les conduites de vapeur et leurs accessoires échappent d'autant moins à cette nécessité que les variations de température et les efforts de dilatation tendent à en disloquer toutes les parties.

En dehors de l'isolant qu'il faut maintenir en bon état, il convient, surtout dans les installations étendues, de surveiller les joints, les robinets, les purgeurs, etc., pour aveugler les fuites aussitôt qu'elles se produisent, et de s'assurer que les robinets sont bien fermés, qu'aucun embranchement, aucune conduite en boucle, ne demeure inutilement sous pression. L'ensemble de ces soins n'a pas, au point de vue de l'économie, un rôle moins important que la bonne installation de la tuyauterie.

FORCE MOTRICE. — La technique de la production de la force motrice par la vapeur, son développement et son perfectionnement se confondent presque avec l'histoire de l'industrie du siècle qui nous précède. C'est d'abord le côté mécanique de la géniale invention de Watt qui passionne les ingénieurs et les constructeurs : puis, dans la seconde partie

du siècle dernier, l'étude de la thermodynamique et l'application des principes féconds qu'elle enseigne, permet de réduire la consommation de vapeur des machines de 30 ou 40 kg par cheval-heure qu'elle était au début, à moins de 5 kg. Lorsqu'au commencement du siècle actuel, les constructeurs paraissent avoir atteint à peu près les limites pratiques des puissances et de l'économie, la turbine à vapeur apparaît et, marchant de pair avec le développement de l'électricité et de sa distribution, donne un essor inespéré à la production, en grand, de la force motrice par la vapeur. Ces divers perfectionnements se sont succédé si rapidement, surtout dans les vingt dernières années, que l'industrie n'a pas toujours pu les suivre. Peu d'années après leur mise en service, les machines motrices étaient démodées, dépassées par de nouveaux types ou des moteurs thermiques d'un autre genre. Cette évolution rapide et le coût élevé des installations neuves expliquent le grand nombre de machines antiéconomiques existant encore dans l'industrie.

Au point de vue spécial où nous sommes placés, c'est-à-dire au point de vue de l'économie de chaleur, et en nous limitant provisoirement à la seule production de la force motrice, c'est la consommation des machines en calories de vapeur par unité de travail qui nous intéresse au premier chef. Cette consommation varie dans une large mesure d'une machine à l'autre, suivant la puissance, le type, la destination, le nombre de cylindres, le genre de distribution, l'âge de la machine et suivant la qualité de la vapeur dont elle est alimentée.

On peut admettre que, actuellement, une bonne machine moderne à condensation, neuve et de puissance supérieure à une centaine de chevaux, ne consomme plus que 7 kg de vapeur saturée par cheval-heure lorsqu'elle est monocylindrique et 5,5 à 6 kg lorsqu'elle est à double expansion, ce qui correspond à peu près à 4 600 calories pour la première et à 3 800 pour la seconde. Lorsque la vapeur est surchauffée aux environs de 300°, les consommations précédentes s'abaissent à 4 000 calories pour les machines monocylindriques et 3 300 pour les machines à double expansion. Entre les deux, mais se rapprochant plus de la machine compound, se placent les machines monocylindriques à équilibre, qui tendent à s'implanter de plus en plus pour les puissances moyennes jusqu'à 400 et 500 ch.

Pour les machines échappant à l'air libre, il faut compter 20 à 25 pour 100 en plus.

Le nombre des machines existantes qui réalisent en marche industrielle ces consommations réduites est cependant relativement restreint, car, sans compter qu'elles sont loin d'être toutes de construction également soignée, la vétusté et l'usure, d'une part, les conditions de marche, d'autre part, s'allient souvent pour en augmenter la consommation dans des proportions considérables. On ne peut donc guère indiquer, même approximativement, la consommation moyenne des machines existantes prises dans leur ensemble.

Toutefois, les très nombreux essais de consommation faits par les associations de propriétaires d'appareils à vapeur sur des machines en service permettent de conclure que, si l'on fait abstraction de petites unités de puissance inférieure à 100 ch et des machines spéciales, telles que celles des laminoirs et d'extraction, la consommation de la plupart des machines à vapeur d'usine construites dans les vingt-cinq ou trente dernières années et marchant à condensation, se tient entre 3 500 et 7 000 calories par cheval-heure. On voit combien ces limites, qui tiennent déjà compte d'une sélection, sont larges et quelle marge elles laissent à l'amélioration économique. Quant aux machines qui dépassent la consommation de 7 000 calories (correspondant à environ 10,5 kg

de vapeur saturée), on ne devrait pas hésiter à les remplacer ou à les améliorer. En effet une économie de 2 000 calories par cheval-heure, facile à réaliser dans ces cas, correspondrait à une économie de houille d'au moins 400 gr par cheval-heure, soit 1 000 kg par cheval-an de 2 400 h, ce qui, avec un prix de houille de 100 fr par tonne, permet d'engager une dépense de 650 fr par cheval, supérieure aux prix d'une machine neuve dépassant 150 à 200 ch.

Bien des machines à consommation exagérée ont encore leurs organes mécaniques en excellent état et peuvent être améliorées par simple remplacement du ou des cylindres, avec application de surchauffe, par exemple, sans qu'il soit besoin de les remplacer intégralement. Dans beaucoup de cas même, une simple mise au point, un réglage de la distribution, la refécation des segments du piston, de quelques tiges et cliquets ou autres organes insignifiants, le rodage des glaces et soupapes, suffisent pour faire baisser la consommation d'une façon très sensible.

Le moyen le plus sûr de découvrir les défauts et le dérèglement de la distribution de vapeur, qui sont plus fréquents qu'on ne le suppose en général, consiste à relever périodiquement des diagrammes au moyen de l'indicateur de Watt. C'est là une précaution qu'aucun industriel soucieux de ses intérêts ne devrait négliger; elle n'occasionne que des frais minimes. Rien n'est plus éloquent en ce qui concerne les défauts de distribution que certaines collections de diagrammes défectueux, qui révèlent souvent les dérèglages les plus inattendus.

Mais si le diagramme donne des indications précieuses sur l'état de la distribution, quelquefois sur les fuites importantes de vapeur, il ne renseigne pas d'une manière directe ni complète sur l'économie de la machine, et seul l'essai de consommation mesure cette économie.

D'ailleurs le chiffre de consommation ne suffit pas non plus à lui seul pour apprécier le degré de perfection d'une machine, juger de ses défauts éventuels et se rendre compte de l'influence des conditions de marche et de la qualité de la vapeur. Lorsqu'on se trouve en présence d'une machine dont la consommation paraît trop forte, il convient, pour apprécier les causes du mal et les remèdes à appliquer, de disséquer le phénomène de la transformation de l'énergie calorifique en travail mécanique, de considérer le processus théorique, c'est-à-dire la manière dont évoluerait la vapeur dans une machine idéale et parfaite, et de comparer à cet idéal théorique la réalisation pratique.

Dans l'hypothèse d'une machine à vapeur parfaite, toute l'évolution du fluide aurait lieu suivant le cycle de Rankine, qui se rapproche un peu plus de la réalité que le cycle classique de Carnot. La vapeur, admise dans la machine à un certain état de pression et de température, s'y détendrait adiabatiquement jusqu'à la pression d'échappement, et le travail, évalué en calories, ne serait autre que l'excès de la chaleur totale du kilogramme de vapeur à la fin de la détente; ce qu'on exprime en disant que le travail serait l'équivalent de la chaleur rendue disponible par la détente adiabatique.

La consommation théorique d'une machine parfaite s'obtient donc en divisant l'équivalent calorifique du cheval-heure ou du kilowatt-heure, c'est-à-dire 632 ou 860 calories, par la quantité de chaleur disponible par la détente adiabatique d'un kilogramme de vapeur (pour la vapeur saturée elle ne peut être lue directement sur les abaques bien connus de M. Rateau). Elle varie dans de très larges limites avec la pression et la température d'admission et avec la pression d'échappement, ainsi que le montrent les tableaux ci-joints donnés à titre d'exemple pour faire ressortir l'influence des trois facteurs précités.

A

Influence de la pression initiale sur la consommation théorique des machines (cycle de Rankine).

Vapeur saturée sèche, pression finale : 1 kg : cm².

| PRESSION initiale (absolue) | CHALEUR totale de 1 kg de vapeur | CHALEUR disponible par détente adiabatique | CONSOMMATION THÉORIQUE | | RENDMENT théorique |
|-----------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | | par cheval-heure | par kilo- watt-heure | |
| kg : cm ² | cal. | cal. | kg | kg | pour 100 |
| 1 | 639,3 | 81,7 | 7 736 | 10 526 | 12,8 |
| 4 | 655,4 | 132,2 | 4 781 | 6 505 | 20,2 |
| 7 | 662,0 | 152,6 | 4 143 | 5 616 | 23,0 |
| 10 | 666,1 | 165,6 | 3 816 | 5 193 | 24,8 |
| 13 | 668,9 | 175,0 | 3 611 | 4 914 | 26,2 |
| 16 | 671,3 | 182,5 | 3 463 | 4 712 | 27,2 |
| 19 | 672,9 | 188,0 | 3 362 | 4 574 | 27,9 |
| 22 | 674,3 | 193,0 | 3 275 | 4 456 | 28,6 |
| 25 | 675,7 | 197,7 | 3 197 | 4 350 | 29,3 |

B

Influence de la pression finale sur la consommation théorique des machines (cycle de Rankine).

Pression initiale absolue 10 kg : cm², vapeur saturée sèche.

| PRESSION finale absolue | CHALEUR totale de 1 kg de vapeur | CHALEUR disponible par détente adiabatique | CONSOMMATION THÉORIQUE | | RENDMENT théorique |
|-------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | | par cheval-heure | par kilo- watt-heure | |
| kg : cm ² | cal. | cal. | kg | kg | pour 100 |
| 0,03 | 666,1 | 197,0 | 3 208 | 4 305 | 29,6 |
| 0,05 | 666,1 | 184,2 | 3 431 | 4 609 | 27,7 |
| 0,1 | 666,1 | 165,6 | 3 816 | 5 193 | 24,9 |
| 0,2 | 666,1 | 145,8 | 4 335 | 5 998 | 21,9 |
| 0,3 | 666,1 | 133,5 | 4 734 | 6 442 | 20,3 |
| 1 | 666,1 | 93,5 | 6 759 | 9 198 | 14,0 |
| 2 | 666,1 | 68,1 | 9 280 | 12 628 | 10,2 |
| 3 | 666,1 | 52,2 | 12 107 | 16 475 | 7,8 |
| 4 | 666,1 | 40,5 | 15 605 | 21 235 | 6,1 |

C

Influence de la surchauffe sur la consommation théorique des machines (cycle de Rankine).

| TEMPÉRATURE initiale | CHALEUR totale de 1 kg de vapeur | CHALEUR disponible par détente adiabatique | CONSOMMATION THÉORIQUE | | RENDMENT théorique |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | | par cheval-heure | par kilo- watt-heure | |
| deg. C | cal. | cal. | kg | kg | pour 100 |
| Pression initiale absolue : 10 kg : cm ² ; pression finale : 1 kg : cm ² . | | | | | |
| 178,9 | 666,1 | 165,6 | 3 816 | 5 193 | 24,8 |
| 200,0 | 678,1 | 168,6 | 3 778 | 5 100 | 24,9 |
| 250,0 | 705,4 | 178,5 | 3 540 | 4 817 | 25,3 |
| 300,0 | 731,6 | 189,4 | 3 336 | 4 539 | 25,9 |
| 350,0 | 757,0 | 201,3 | 3 139 | 4 272 | 26,6 |
| 400,0 | 782,0 | 214,0 | 2 953 | 4 018 | 27,4 |
| 450,0 | 806,6 | 227,4 | 2 779 | 3 781 | 28,2 |
| Pression initiale absolue : 10 kg : cm ² ; pression finale : 1 kg : cm ² . | | | | | |
| 178,9 | 666,1 | 92,7 | 6 818 | 9 277 | 13,0 |
| 200,0 | 678,1 | 65,0 | 6 650 | 9 049 | 14,0 |
| 250,0 | 705,4 | 101,8 | 6 206 | 8 437 | 14,4 |
| 300,0 | 731,6 | 110,3 | 5 728 | 7 795 | 15,1 |
| 350,0 | 757,0 | 120,0 | 5 268 | 7 168 | 15,8 |
| 400,0 | 782,0 | 130,4 | 4 846 | 6 594 | 16,7 |
| 450,0 | 806,6 | 140,0 | 4 513 | 6 141 | 19,8 |

Le rendement du cycle théorique est d'autant plus grand que la pression et la température initiales sont plus élevées et la pression finale plus basse. Ce sont là les conditions primordiales pour la marche économique d'une machine, conditions que l'on devrait chercher à réaliser le plus possible lors d'une installation neuve ou à l'occasion d'une transformation.

On voit notamment, en examinant le tableau A, que l'augmentation du rendement théorique due à une élévation de la pression initiale est très sensible aux faibles pressions d'admission, pour devenir progressivement minime aux pressions élevées. Ainsi, à $7 \text{ kg} : \text{cm}^2$ de pression, l'amélioration du rendement est d'environ 4 pour 100 pour 1 kg d'augmentation de pression ; elle est de près de 2 pour 100 encore entre 10 et 13 kg et tombe à environ 1 pour 100 entre 16 et 19 kg. Le fait de ne pas tenir continuellement la pression aux chaudières aussi voisine que possible de celle du timbre est donc d'autant plus préjudiciable à l'économie d'une machine que la pression de marche est plus basse. On rencontre beaucoup d'installations marchant entre 6 et 8 $\text{kg} : \text{cm}^2$, où l'on pourrait sans inconvénient et avec peu d'efforts de la part du chauffeur, obtenir une meilleure tenue de la pression et gagner d'une façon continue à $1,5 \text{ kg} : \text{cm}^2$, c'est-à-dire de 3 à 5 pour 100 sur la consommation.

Il ressort du même tableau que, pour les machines à condensation, dans le cas général, il n'y a pas grand avantage à dépasser 16 ou 18 $\text{kg} : \text{cm}^2$ de pression initiale. Il n'en est pas de même quand la pression finale est élevée, comme cela a lieu dans certaines machines à contre-pression ; l'intérêt relatif des hautes pressions initiales croît à mesure que la pression finale s'élève. Ainsi, pour une contre-pression de 5 kg absolus, chaque kilogramme de pression initiale en plus, entre 16 et 20 kg fait gagner plus de 4 pour 100 sur le rendement.

Les remarques qui précèdent visent le rendement de la machine parfaite. Mais, dans toute machine réelle, le fonctionnement s'écarte, d'une manière plus ou moins importante, du processus idéal envisagé ci-dessus et le travail accompli par la vapeur sur le ou les pistons (machine alternative) ou sur les aubes (turbine) s'en trouve notablement amoindri. Rapporté à ce travail (qu'on appelle travail indiqué parce que, dans le cas des machines alternatives, il est mesuré par l'aire du diagramme d'indicateur), la consommation de vapeur d'une machine réelle est donc notablement supérieure à la consommation théorique de la machine parfaite. L'inverse de ce rapport de consommations est un coefficient de mérite de la machine réelle considérée ; on peut l'appeler le rendement thermo-dynamique de cette machine par rapport à la machine parfaite.

Ce coefficient de mérite ou rendement relatif constitue un élément d'appréciation plus précieux du degré de perfection de la machine que le chiffre de consommation lui-même. Ledit coefficient se tient, en général, pour les machines monocylindriques, entre 0,45 et 0,55 et, pour les machines compound alimentées en vapeur saturée et marchant à condensation, entre 0,50 et 0,70. Il est amélioré par la surchauffe et ordinairement plus élevé pour les machines à échappement libre que pour les machines à condensation.

Les pertes qui constituent la différence entre la consommation réelle et la consommation de la machine parfaite sont dues, dans les machines à piston, à l'action de la paroi, à la détente incomplète, au laminage, aux fuites et aux refroidissements extérieurs. La plus importante de ces causes d'imperfection, celle qui domine en quelque sorte l'histoire de la machine à vapeur, est l'influence des parois, mise en évidence par l'illustre Hirn et ses élèves. Cette action a pour

effet de refroidir la vapeur pendant l'admission, ce qui se traduit pour la vapeur saturée par une condensation partielle, l'eau formée étant ensuite réévaporée incomplètement au cours de la détente. La condensation pendant l'admission est d'autant plus importante que la vapeur est plus dense, la surface et le temps de contact plus grands et l'écart de température entre la vapeur et la paroi, plus considérable. Les deux moyens les plus efficaces pour l'atténuer, dont l'un a déjà été employé judicieusement par Watt et qui ont été, l'un et l'autre, préconisés par Hirn sont l'enveloppe de vapeur et la surchauffe.

L'utilité de l'enveloppe, au moins pour la vapeur saturée, est si incontestablement reconnue que l'on aurait peine à imaginer un constructeur livrant actuellement une machine un peu puissante, devant fonctionner à vapeur saturée, qui ne soit avec enveloppe. Certains constructeurs chauffent non seulement les parois cylindriques, mais encore les fonds, dont le réchauffage est particulièrement important ; pour certaines machines à surchauffage ou à équicourant, le chauffage des fonds a seul été maintenu. D'autres constructeurs sont allés jusqu'à chauffer l'intérieur des pistons. L'utilité des enveloppes n'est pas toujours appréciée à sa juste valeur par les usagers et on trouve des machines dont les enveloppes ne sont pas chauffées ou sont chauffées seulement par intermittence : on trouve même, qui pis est, des enveloppes complètement remplies d'eau, lorsque la purge ne fonctionne pas.

L'emploi de la surchauffe, à laquelle, après quelques hésitations et tâtonnements dus aux difficultés rencontrées dans toute innovation, se rallient aujourd'hui la majorité des constructeurs et même des usagers, est certainement le moyen le plus efficace de combattre l'action des parois. C'est ce qui explique pourquoi le bénéfice de la surchauffe est pratiquement plus élevé que celui qui résulte théoriquement de l'augmentation de la chaleur disponible dans le cycle. La diminution réelle de consommation pour un degré de température est de 15 à 25 g par cheval-heure dans les machines à échappement libre et de l'ordre de 10 à 12 g dans les machines à condensation, tandis que théoriquement elle ne serait que du tiers ou de la moitié de ces chiffres, ainsi qu'il ressort du tableau C.

Il est incontestable que certaines distributions s'accommodent mal de la surchauffe, parce que le graissage des cylindres demande plus de soins et des huiles appropriées, mais il y a cependant peu de machines qui ne supportent pas une température modérée de 220 à 240° et l'économie qu'elle procure, surtout pour les machines à rendement médiocre, est assez sensible pour que l'on envisage l'adjonction de surchauffeurs dans toutes les installations importantes qui en sont actuellement encore dépourvues. Pour les installations neuves, on ne devrait, en aucun cas, s'en passer, aussitôt qu'il s'agit d'une certaine puissance. En effet, les difficultés rencontrées au début peuvent être considérées comme aplanies et beaucoup de machines modernes marchent d'une façon continue entre 280 et 300 degrés sans inconvénient. Certains préconisent d'aller beaucoup plus haut ; même pour les machines à pistons, on parle quelquefois de 350 degrés et plus. Mais, en cette matière, comme en beaucoup d'autres, le mieux est souvent l'ennemi du bien et il convient de rappeler que les inconvénients des hautes températures croissent rapidement lorsque la température s'élève au-dessus de 300 degrés, tandis que le bénéfice que l'on en retire au point de vue consommation n'augmente que dans une moindre proportion.

La surchauffe ne rend l'enveloppe superflue que lorsqu'il s'agit de températures très élevées. Pour les températures

modérées l'expérience montre que le chauffage du cylindre, ou au moins des fonds, conserve un certain avantage.

Une grande partie de ce qui vient d'être dit au sujet de la machine alternative s'applique également à la turbine. Les pertes internes de la turbine sont du même ordre de grandeur que celles des machines à pistons, mais de nature différente : l'action de la paroi notamment, qui est si nuisible dans celle-ci, n'existe pas. Ce sont les frottements de la vapeur contre les aubages, les fuites intérieures, les remous et tourbillons et les pertes cinétiques par vitesse restante à la sortie qui entrent principalement en jeu. Ces différences expliquent pourquoi la turbine se comporte autrement que la machine alternative en regard des variations de pression, de température et de vide. Elle utilise mieux la détente aux basses pressions que ne le fait le grand cylindre d'une machine compound : par contre, le petit cylindre de celle-ci présente généralement un meilleur rendement que les roues à haute pression de la turbine. C'est pourquoi on a proposé et réalisé souvent avec avantage la combinaison des deux : on associe une machine alternative échappant à une pression voisine de celle de l'atmosphère et une turbine alimentée par cette vapeur à basse pression, avec interposition d'un accumulateur lorsque le débit de la machine à piston est intermittent, comme pour les machines d'extraction ou de laminaires.

Les efforts des constructeurs se sont surtout appliqués à améliorer le rendement dans la partie à haute pression des turbines et il en est résulté un certain rapprochement des différents types, tant au point de vue de l'action de la vapeur sur les aubages que du mécanisme de réglage.

La plupart des turbines sont alimentées en vapeur de pression et température relativement élevées ; elles craignent moins la surchauffe que les machines alternatives puisqu'elles ne comportent aucun graissage interne. Le bénéfice que procure l'emploi de la surchauffe, quoique moindre (à degré de surchauffe égal) que dans les machines alternatives, est cependant supérieur à ce qu'indiquerait le cycle théorique. La raison en est la moindre densité de la vapeur surchauffée et l'absence d'humidité pendant la détente, qui réduisent les pertes par frottement.

Mais c'est surtout l'abaissement de la pression au condenseur et le maintien d'un bon vide qui importent pour diminuer la consommation des turbines. Alors qu'il n'y a pas d'intérêt à abaisser le vide au-dessous de 85 pour 100 pour les machines à pistons, parce que les dimensions limitées du cylindre ne permettent pas d'utiliser complètement la détente, il y a au contraire un intérêt majeur à pousser aussi loin que possible le vide pour les turbines. Entre 80 et 95 pour 100 de vide, chaque pour 100 en plus correspond à une diminution de consommation de 1 à 2 pour 100. Le bon entretien des condenseurs, qui sont presque toujours à surface, leur nettoyage fréquent et l'aménagement d'eau froide en quantité suffisante sont des facteurs essentiels de la marche économique des turbines.

La grandeur des unités a également une influence beaucoup plus marquée sur la consommation des turbines que sur celle des machines alternatives. Il est connu que certaines machines demi-fixes de 100 à 200 ch, munies d'une distribution de précision et marchant à haute surchauffe, produisent le cheval-heure à raison de 3 000 calories, chiffre au-dessous duquel ne descendent guère les unités de 1 000 à 2 000 ch. Au contraire, les petites turbines à vapeur de moins de 300 kw ont d'ordinaire un rendement très médiocre, bien inférieur à celui des bonnes machines à vapeur de même puissance ; cependant on travaille beaucoup à les améliorer en augmentant leur vitesse de rotation, que l'on réduit ensuite par des trains d'engrenages. Toujours est-il que la

consommation par unité de travail diminue fortement dans les turbines lorsque la puissance augmente et cette diminution est encore sensible pour des unités de plusieurs milliers de kilowatts.

Le vrai domaine de la turbine, domaine aujourd'hui incontesté, est celui des groupes électrogènes de grande puissance ; c'est seulement par l'emploi de puissants turbo-alternateurs qu'a pu être conçue et réalisée la centralisation de la production de force motrice telle qu'elle se présente dans les centrales électriques.

Mais, que l'on considère les machines alternatives ou les turbines, il faut reconnaître que la technique est arrivée à réaliser des rendements très honorables, atteignant 75 et même 80 pour 100 de l'idéal que donnerait la machine parfaite. Il sera sans doute possible encore, en accumulant tous les perfectionnements connus ou en appliquant de nouveaux et ingénieux artifices, de gagner quelques pour 100 sur les pertes internes et de se rapprocher encore de la consommation théorique. On pourra aussi, au prix d'efforts persévérants et méthodiques, reculer les températures et pressions extrêmes du cycle. Mais plus on ira, plus les progrès seront lents, à mesure que l'on s'approchera des limites imposées par la thermodynamique et par la résistance des matériaux de choix.

EMPLOIS DE LA VAPEUR POUR LA FABRICATION ET LE CHAUFFAGE.

— Les emplois de la vapeur dans l'industrie sont aussi nombreux et variés que les industries elles-mêmes. La vapeur sert en particulier à étuver, à sécher, faire dissoudre ou fondre des corps solides ; à chauffer, cuire, faire bouillir, concentrer, distiller et évaporer les liquides ; à chauffer l'air pour le séchage de produits ou pour le chauffage de locaux ; à traiter quantité de produits et de demi-produits manufacturés, tels que les textiles ; enfin, à provoquer ou faciliter des réactions et opérations chimiques de tous genres. Dans mainte application, le chauffage à la vapeur tend d'ailleurs à se substituer de plus en plus au chauffage direct, en raison de la souplesse, de la commodité de transport, de la propreté et des moindres risques d'incendie.

L'étuvage ou vaporisation s'opère dans des récipients clos, sous pression ou dans le vide, et a pour objet d'échauffer et d'imprégner de vapeur des corps solides pour en extraire, par exemple, des substances que l'on se propose d'éliminer comme la sève ou la résine du bois, ou pour produire certaines réactions chimiques, telles que le durcissement des briques silico-calcaires, ou encore pour détruire des germes nocifs, comme dans la désinfection. La pression intensifie et active l'effet recherché, mais elle se trouve souvent limitée par l'action nuisible des températures élevées sur les objets traités. Au point de vue économique, on a intérêt à ne pas choisir la pression plus élevée qu'il n'est nécessaire, puisque la vapeur qui se trouve dans l'appareil est généralement perdue une fois l'opération terminée et que la masse de vapeur contenue, ainsi que les pertes de chaleur, fuites, etc., augmentent rapidement avec la pression.

Le chauffage des liquides aqueux et la préparation d'eau chaude peuvent se faire soit par introduction directe de vapeur dans les liquides, soit par transmission à travers une paroi, serpent, double fond, faisceau tubulaire ou autre. Le chauffage des liquides non aqueux et des solides, tels que graisse, résine, etc., a presque toujours lieu à travers une paroi, lorsque la vapeur ne doit pas produire par elle-même une réaction chimique.

L'eau chaude est d'un emploi extrêmement répandu dans l'industrie et il n'est pas rare de la voir gaspiller, par exemple, pour des nettoyages, rinçages et autres opérations

qui pourraient se faire avec de l'eau froide ou tiède. Dans bien des cas, on pourrait éviter toute dépense de vapeur pour la préparation d'eau chaude en se servant de l'eau sortant du condenseur d'une machine à vapeur, en récupérant les purges chaudes des conduites et appareils ou en prenant une dérivation sur le réchauffeur d'eau d'alimentation.

Le chauffage d'un liquide peut rester au-dessous de l'ébullition, atteindre cette température et aller ensuite par tous les degrés intermédiaires de concentration jusqu'à la distillation ou à l'évaporation complète.

Le maintien de la température d'ébullition suffit pour la cuisson des aliments, pour celle de certains liquides tels que la bière, ainsi que pour certains bains de teinture. Une fois le liquide amené à cette température, il ne faut plus qu'un faible apport de chaleur pour compenser les pertes. Il conviendra donc, à ce moment, non seulement de couvrir les récipients, mais de fermer presque complètement l'arrivée de vapeur de chauffage pour éviter tout bouillonnement tumultueux ou toute évaporation inutile. Cette précaution est malheureusement souvent inobservée, que ce soit par négligence ou pour maintenir en mouvement le bain de cuisson et les matières qui s'y trouvent. Un agitateur mécanique atteindrait ce dernier but d'une façon beaucoup plus économique. Quelquefois, il est vrai, les robinets d'admission de vapeur ne permettent pas d'étranglement et il serait utile pour beaucoup d'appareils à cuire qu'ils fussent munis de deux robinets de vapeur. L'un de section normale pour le chauffage préalable, le second de section plus réduite pour le maintien du bouillon. Pour apprécier l'importance de ces recommandations, il suffit de se rappeler que, pour chauffer 1 kg d'eau de 10° à 100° C, il faut environ 90 calories, tandis que pour l'évaporer à la pression atmosphérique, c'est 540 calories qu'il faut lui fournir, soit six fois plus. Il s'ensuit que, si l'on évapore sans nécessité un sixième seulement du liquide, la dépense de vapeur double. Dans l'industrie de la brasserie, par exemple, il existe des différences considérables à ce point de vue pour la cuisson de la bière. Certains brasseurs évaporent à peine 5 pour 100 du moût, d'autres vont jusqu'à 20 pour 100, et l'on peut se demander si la dépense supplémentaire de vapeur et de combustible qui en résulte est toujours justifiée par une amélioration correspondante du produit fini et si d'autres traitements exigeant moins de chaleur ne permettraient pas d'arriver au même résultat. Pour la cuisson des aliments, la question n'est pas douteuse : la marmite norvégienne en est la meilleure preuve.

Le séchage est également une opération industrielle très répandue et pour laquelle la vapeur est fréquemment employée. Il a pour objet d'enlever à des corps solides quelconques tout ou partie de l'eau qu'ils contiennent. Le problème du séchage, en apparence très simple, est souvent difficile et compliqué et se présente sous des aspects variés que nous ne pourrions qu'effleurer ici en indiquant quelques principes généraux.

Le séchage naturel à l'air libre ne rentre pas dans le cadre de cette étude, puisqu'il ne nécessite aucune source de chaleur artificielle ; il nous paraît néanmoins nécessaire d'en faire mention, au même titre que des procédés mécaniques, tels que l'essorage ou la compression entre plateaux ou cylindres, comme de moyens indirects d'économiser de la vapeur et, partant, du combustible. Les procédés mécaniques sont souvent plus économiques que la dessiccation par la chaleur ; mais ils sont insuffisants pour extraire toute l'eau retenue par certaines fibres ou matières. Il faut alors les compléter par un séchage par évaporation : toutefois leur

application doit être envisagée chaque fois que cela paraît possible.

Passons au séchage à la vapeur. Dans cette opération, l'apport de chaleur aux matières à sécher peut avoir lieu soit par contact avec une paroi chauffée, soit par l'intermédiaire d'air chaud.

Dans le premier cas, s'il n'y a aucune circulation d'air, c'est par l'ébullition du liquide à extraire que se fait la séparation ; la matière à traiter doit donc être portée au moins à la température d'ébullition de ce liquide. Comme certains corps ne supportent pas, sans s'altérer, cette température, on est souvent amené à opérer dans le vide. Lorsque le séchage par contact direct a lieu à l'air libre, il y a rarement ébullition totale, c'est-à-dire qu'une partie de l'eau, souvent même la presque totalité, est évaporée à une température inférieure à celle de l'ébullition. C'est l'air qui absorbe la vapeur produite ou enlève l'eau sous forme de buées. Le séchage est par conséquent accéléré, non seulement par l'augmentation de la température de la surface, mais aussi par le renouvellement de l'air environnant au fur et à mesure qu'il se sature.

C'est ce qui a lieu dans la plupart des procédés par contact qui sont employés sur une très vaste échelle, par exemple dans l'industrie des tissus et dans la fabrication du papier, en appliquant la matière sur des tambours-sécheurs chauffés à la vapeur. Les sécheresses à tambours doivent, au point de vue économique, être disposées de manière que le ruban d'étoffe ou de papier embrasse la plus grande partie de la circonférence des tambours et que les buées soient rapidement enlevées.

Le séchage à air chaud fait intervenir uniquement la propriété de l'air d'absorber avidement la vapeur au contact des liquides ou des corps humides et de pouvoir en contenir une quantité d'autant plus considérable que sa température est plus élevée. Alors que 1 kg d'air sec ne peut absorber à 10°, pour arriver à l'état de saturation que 7,8 gr de vapeur d'eau, il peut en contenir 85,6 gr à 50° et 1,394 gr à 90°.

L'air joue dans ce mode de séchage un double rôle : il fournit, d'une part, la chaleur nécessaire à la vaporisation de l'eau (plus celle, moins importante généralement, qui sert à chauffer la matière et à couvrir les pertes du séchoir) et il doit, d'autre part, ne pas trop se refroidir, pour emporter le plus de vapeur possible.

Dans le cas le plus simple, l'air est donc chauffé, puis mis en contact avec la matière à sécher ; il lui cède de la chaleur, absorbe de la vapeur et quitte le séchoir plus ou moins saturé et moins chaud qu'à l'entrée du séchoir.

Il apparaît à première vue que, pour évaporer un poids d'eau donné, il faudra d'autant moins d'air que cet air sera plus chaud, puisqu'il pourra céder plus de chaleur. Ainsi par exemple, si l'on prend de l'air à 10° et saturé aux trois quarts (ce qui est la saturation moyenne de l'air atmosphérique de nos régions) et si, pour l'envoyer dans un séchoir, on le chauffe à

30, 50 ou 70° C,

il faudra respectivement

355, 131 ou 55,5 kg d'air

pour évaporer 1 kg d'eau, l'air sortant à demi-saturé. La quantité de chaleur dépensée pour chauffer cet air sera de

1 703, 1 259 et 799 calories.

Pendant le séchage, l'air chaud, en cédant sa chaleur, se sera considérablement refroidi et sa température sera tombée, par exemple, de 50 à 30°.

Il est à noter que, par suite de ce refroidissement, l'air n'emporte, pour un degré de saturation donné, qu'une quantité de vapeur d'eau bien moindre que s'il avait conservé sa température d'entrée.

Pour faire en sorte que l'air conserve, à sa sortie du séchoir, sa température d'entrée, il n'y a qu'un moyen : c'est de lui fournir dans le séchoir même une quantité de chaleur équivalente à celle qu'il cède. Chaque kilogramme d'air quittera alors le séchoir en emportant, il est vrai, toute la chaleur qu'on lui aura communiquée avant son entrée, mais il contiendra à saturation égale, beaucoup plus de vapeur d'eau et il aura fallu de ce fait une masse d'air bien moindre pour évaporer 1 kg d'eau. En reprenant l'exemple précédent et en supposant la température maintenue à

30, 50 et 70°

jusqu'à sa sortie du séchoir, la quantité d'air nécessaire pour évaporer 1 kg d'eau se réduit à

131, 28,4 et 9,24 kg

en admettant que cet air sorte toujours à demi-saturé. Par suite de la réduction considérable de la quantité d'air, la chaleur nécessitée par le séchage diminue également, malgré la température de sortie plus élevée, et elle n'atteint que

1 260,903 et 763 calories.

On voit, par la comparaison de ces chiffres avec les précédents, que l'économie réalisable par le chauffage intérieur des séchoirs peut être notable, surtout aux basses températures. Elle atteint 25 pour 100 à 30° et un peu plus de 5 pour 100 seulement à 70°.

C'est l'élévation de température qui est le facteur le plus important dans l'économie du séchage par l'air, mais on n'est pas toujours libre du choix de cette température. Elle dépend de la constitution des matières à sécher et pour certaines, la gélatine, le cuir, les chapeaux de paille, par exemple, elle est très basse et ne doit pas dépasser 40°C. D'autres supportent des températures élevées tant qu'elles sont humides, d'autres, au contraire, demandent à être chauffées très lentement et avec grand ménagement pour ne pas s'altérer en surface et peuvent être portées vers la fin du séchage à des températures plus élevées. Ces particularités, plutôt que des considérations d'économie, détermineront en général la température maximum et le sens de circulation de l'air chaud : en parallèle, à contre-courant ou mixte.

De toute façon, la circulation intense de l'air autour des matières à sécher activera beaucoup l'opération et l'on devra chercher à obtenir un contact aussi intime que possible et quelquefois répété pour que l'air sortant soit saturé dans une forte proportion et emporte avec lui le plus de vapeur possible.

L'influence de la saturation ressort clairement du tableau suivant, établi pour un séchoir recevant de l'air pris à 10° et trois quarts de saturation, et chauffé préalablement à 50°.

| SATURATION DE L'AIR à la sortie | CALORIES DÉPENSÉES par kilogramme d'eau évaporée | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|
| | sans chauffage intérieur | avec chauffage intérieur |
| 1/4..... | 2 078 | 1 317 |
| 1/2..... | 1 259 | 903 |
| 3/4..... | 1 068 | 800 |

Pour obtenir une saturation presque complète, on a été amené à faire circuler l'air en circuit fermé pour le mettre plusieurs fois en contact avec la matière à sécher. Dans le cas limite, lorsque la température atteint 100 degrés, l'air peut même disparaître complètement du mélange et par conséquent de la circulation et le séchage s'effectue dans une atmosphère entièrement constituée par de la vapeur d'eau.

La chaleur contenue dans l'air et la vapeur qui s'échappent du séchoir peut d'ailleurs être récupérée en partie au moyen d'échangeurs de chaleur et utilisée à un chauffage d'eau, par exemple, et cette récupération est d'autant plus facile que la température et le degré de saturation à la sortie sont plus élevés.

Quoi qu'il en soit, il ressort des quelques chiffres de consommation de chaleur cités ci-dessus et qui ne comprennent, ni les pertes extérieures, ni la chaleur nécessaire au chauffage des résidus de dessiccation, que le séchage par l'air, qui présente par ailleurs de très grands avantages, est rarement très économique. On n'arrive que tout à fait exceptionnellement, lorsque toutes les conditions sont favorables, à ne dépenser que 1,5 kg de vapeur de chauffage par kilogramme d'eau évaporée. La plupart du temps, 2 et 3 kg de vapeur de chauffage sont nécessaires, et il existe même des appareils qui consomment plus de 10 kg de vapeur pour enlever par dessiccation 1 kg d'eau.

Le séchage par contact direct est à ce point de vue plus économique. Dans les bonnes sécheries à tambours, on ne compte guère que 1,3 à 1,8 kg de vapeur de chauffage pour évaporer 1 kg d'eau dans les tissus ou le papier.

En raison même des écarts considérables qui peuvent exister dans l'économie du séchage par l'air, il est indispensable d'en rechercher les conditions les plus favorables et d'en contrôler d'une manière minutieuse la marche, en maintenant aussi haut que possible la température et la saturation de l'air sortant. A cet effet, deux instruments bien simples, le thermomètre et le psychromètre, suffisent et ne devraient manquer dans aucune installation de ce genre.

Le chauffage des ateliers et autres bâtiments est également une branche très vaste de l'emploi industriel de la vapeur, dans le détail de laquelle le cadre restreint de ce rapport ne nous permet pas d'entrer. La vapeur peut servir soit d'agent indirect pour chauffer de l'air et de l'eau, qui sont alors distribués et répartis dans les locaux à chauffer.

Dans le chauffage direct (qui comportera tantôt des corps de chauffe spéciaux, tantôt de simples canalisations à surface agrandie), on distingue, suivant la pression de distribution, le chauffage dit à haute pression, marchant à plus de 1,3 kg par centimètre carré (300 g : cm² effectifs), le chauffage à basse pression, qui fonctionne entre 1 et 1,3 kg absolus, et le chauffage par le vide, dans lequel l'extrémité de la conduite est reliée à une pompe à vide. Abstraction faite des mesures de sécurité qu'impose le décret du 9 octobre 1907 pour les installations marchant à une pression supérieure à 300 g : cm² effectifs, ces trois modalités ne diffèrent en somme que par la température et le volume spécifique de la vapeur qui y circule, laquelle exige des surfaces de chauffe et des sections de passage d'autant plus grandes que la pression est plus faible. Il s'ensuit que les frais d'installation augmentent lorsque la pression diminue, mais, au point de vue dépense de vapeur, il y a, ainsi que nous le verrons plus loin, un petit avantage en faveur de la basse pression, qui a en outre quelque supériorité aux points de vue de l'hygiène, de la sécurité et de la faculté d'employer la vapeur de décharge. Le maintien de l'étanchéité des joints est une difficulté dans les installations de chauffage comportant un grand développement de conduites. Toutefois, aujourd'hui, où on assemble

souvent les tuyauteries par soudure, cet inconvénient tend à disparaître.

En dehors du chauffage direct, la vapeur permet toutes les combinaisons de *chauffage indirect*, par l'eau chaude ou par l'air chaud.

La distribution d'eau chaude nécessite des surfaces de chauffe plus grandes que la vapeur à basse pression et du même ordre de grandeur que le chauffage par le vide. Elle permet l'accumulation de la chaleur, ce qui, dans certains cas, peut être très précieux pour utiliser les sources de chaleur intermittentes et ne coïncidant pas exactement avec les heures de chauffage.

Dans le chauffage indirect avec distribution d'air chaud, celui-ci est produit en un ou plusieurs centres de distribution par des échangeurs de chaleur appelés *aérothermes* ou *aéro-condenseurs*, suivant qu'ils sont alimentés avec de la vapeur de pression supérieure ou inférieure à la pression atmosphérique. Les avis sont assez partagés sur les avantages économiques du chauffage indirect à l'air chaud par rapport au chauffage direct à la vapeur. Il paraît difficile de trancher la question d'une façon générale; chaque cas particulier doit être étudié spécialement, en tenant compte des circonstances, du genre d'industrie et de la durée du travail. L'air chaud permet la combinaison du chauffage avec la ventilation et, pour certaines industries, l'humidification des ateliers; il convient particulièrement aux chauffages intermittents.

Quel que soit le mode de chauffage, des économies appréciables peuvent être réalisées par l'aménagement rationnel des corps ou surfaces de chauffe et des bâtiments, le choix des matériaux de construction et de couverture, la réduction des surfaces vitrées ou l'emploi de doubles fenêtres, la limitation du renouvellement de l'air au strict nécessaire pendant les saisons froides, enfin le réglage de la température, ce réglage étant obtenu soit en modérant la pression de vapeur ou la température de l'eau ou de l'air chaud, soit en agissant par interruption périodique, c'est-à-dire en rendant le chauffage intermittent. Il ne faut pas oublier que, si la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur est en moyenne en hiver de 15 à 16° C, chaque degré au-dessus de la température réellement nécessaire à l'hygiène ou au travail représente une dépense supplémentaire de chaleur d'environ 6 pour 100.

Il nous reste maintenant à examiner quelle est l'influence de la qualité, c'est-à-dire de la *pression* et de la *température* de la vapeur, sur les emplois de celle-ci autres que la production de la force motrice, tant au point de vue de la construction des appareils que surtout de l'économie. Dans la grande majorité des cas, la vapeur joue simplement le rôle d'agent transmetteur de chaleur, soit en s'incorporant directement au liquide ou aux matières à chauffer, soit en cédant la chaleur à travers une paroi métallique. La transmission de chaleur ne peut avoir lieu que si la température de la

vapeur est supérieure à celle du corps à chauffer et elle est proportionnelle à la différence de ces deux températures. Cette différence croît, toutes choses égales, avec la pression de la vapeur, rapidement au bas et plus lentement au haut de l'échelle des pressions, et c'est elle qui détermine la grandeur de la surface des échangeurs et la rapidité de l'échange. Les dépenses d'installation sont donc sensiblement moindres avec les pressions élevées. Cependant les basses pressions conservent, au point de vue économique de chaleur, l'avantage, chaque fois que l'eau de condensation n'est pas directement incorporée au corps à chauffer, ou que sa chaleur n'est pas récupérée par chauffage méthodique ou autrement. En effet, la chaleur latente de vaporisation de la vapeur est alors seule utilisée et celle-ci diminue lorsque la pression augmente. Elle est de 5,40 calories à 1 kg absolu et de 485 calories seulement à 10 kg. La fraction de la chaleur totale qui peut être utilisée théoriquement dans l'échangeur est par conséquent de $\frac{5,40}{6,40} = 0,845$ dans le premier cas et

de $\frac{485}{666} = 0,728$ dans le second.

La récupération des purges de tous les appareils de chauffage et d'échange est donc d'autant plus intéressante que la pression est plus élevée. Si leur retour aux chaudières est difficile, il est souvent possible de les utiliser sur place.

Dans le même ordre d'idées, la protection contre les refroidissements (au moyen de revêtements isolants ou de peintures métalliques) de toutes les surfaces chauffées qui ne concourent pas directement à l'effet calorifique que l'on veut produire, s'impose d'autant plus que les pressions mises en œuvre et par là les températures sont plus élevées.

Quant à la surchauffe, elle ne présente pas grand avantage pour les chauffages. Sans doute l'effet calorifique augmente avec la chaleur totale du kilogramme de vapeur et, de ce fait, il faut une moindre masse de vapeur surchauffée que de vapeur saturée à la même pression, pour préparer par exemple un bain de teinture par barbotage. Mais la chaleur de surchauffe ne représente cependant qu'une faible fraction de la chaleur totale et, lorsqu'il s'agit de chauffages indirects à travers une paroi, la couche de vapeur qui se trouve en contact avec celle-ci passe rapidement à l'état saturé. La vapeur surchauffée agira donc à peu de choses près comme de la vapeur saturée de même pression et demandera sensiblement les mêmes surfaces de chauffe, mais des sections de passage plus grandes en raison de sa moindre densité.

En ce qui concerne l'échange de chaleur, la température de surchauffe ne saurait remplacer la pression. Pour certains usages, tels que le vaporisation, une forte surchauffe peut même être nuisible et altérer des matières délicates.

(A suivre.)

V. KAMMERER.

Revue, analyses et informations

Progrès récents en électrochimie, d'après les brevets.

CUVES ÉLECTROLYTIQUES. — L'électrolyseur C.-W. MARSH (1) est disposé en vue d'augmenter le rendement et particulièrement

(1) Perfectionnements aux piles électrolytiques, *Brevet français* n° 498 922, demandé le 2 mai 1919, délivré le 4 novembre 1919, publié le 27 janvier 1920, 458 lignes, 8 figures.

de réduire la résistance intérieure en éliminant les bulles gazeuses produites à l'anode à de fréquents intervalles sur toute la hauteur. La figure 1 représente une vue de la cuve en perspective, la figure 2 une vue en plan et la figure 3 une coupe verticale transversale.

Le corps 1 de la cuve double et son couvercle 4 sont en béton. Les parois latérales portent des ouvertures 2. L'anode 3 est constituée par des lames de graphite fixées par des che-

viles de graphite 7 dans les évidements des montants 6 en graphite. Les bulles gazeuses formées à la surface de chaque lame frappent la paroi inférieure de la lame supérieure et sont ainsi déviées de l'espace entre anode et cathode. Celle-ci consiste en une feuille perforée 8 adaptée sur les ouvertures 2, la surface extérieure étant recouverte d'une enve-

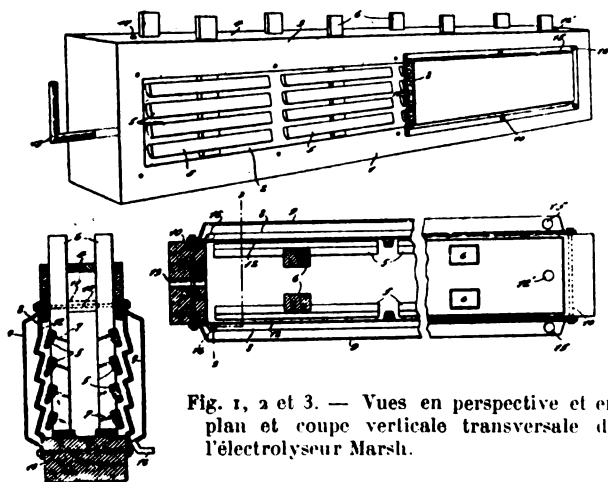


Fig. 1, 2 et 3. — Vues en perspective et en plan et coupe verticale transversale de l'électrolyseur Marsh.

loppe métallique 9. Cette enveloppe et la feuille perforée sont assujetties par les boulons 10 traversant les flasques 3 et recouvertes d'une douille 11 en béton. La cathode est recouverte du diaphragme 12 en papier d'amiante. La solution de chlorure de sodium entre par l'ouverture 12'; le tuyau de sortie 13 permet de maintenir le niveau convenable à l'intérieur de la cuve. Les gaz de l'anode sortent par l'ouverture 14. Dans les parois de l'enveloppe 9, des ouvertures 15 sont également ménagées pour l'échappement de l'hydrogène formé sur la cathode. Le tuyau 16 sert à l'écoulement de la liqueur cathodique.

L'ondulation de la cathode présente comme avantages de donner une résistance d'électrolyte constante du haut en bas et de provoquer une circulation locale de l'électrolyte autour de chaque partie de l'anode.

La cuve électrolytique H.-C. JENKINS ⁽¹⁾ est divisée par des parois de séparation en un certain nombre de cellules, dans lesquelles l'écoulement de l'électrolyte est parallèle aux électrodes. La face supérieure de chaque paroi de séparation porte une cavité qui reçoit la cathode (en fer par exemple) enveloppée d'un sac poreux (toile d'amiante, par exemple). Le fond de ces cavités, ainsi que le fond des cellules, communiquent avec des ouvertures de sortie de liquide. Les électrodes et les ouvertures sont disposées de telle sorte que l'écoulement du liquide se produit en longeant les surfaces des anodes non enveloppées et en léchant superficiellement les enveloppes des cathodes.

ELECTROLYSE DES CHLORURES ALCALINS. — Dans les appareils d'électrolyse des chlorures, on emploie des anodes en graphite, en alliages (ferro-silicium) ou en oxydes fondus. Avec les dispositions généralement adoptées, une fraction importante des anodes est située à l'extérieur du bain ou encastrée. Il en résulte des frais élevés d'installation et d'entretien. En outre, ces électrodes nécessitent un traitement approprié

⁽¹⁾ Perfectionnements aux cuves électrolytiques. *Brevet français n° 503 134*, demandé le 27 août 1919, délivré le 9 mars 1920, publié le 3 juin 1920, 131 lignes, 2 figures.

pour éviter l'attaque du métal servant aux amenées de courant.

Pour éviter ces inconvénients, G. CHARBONNEAU ⁽¹⁾ emploie un dispositif comportant des anodes qui sont serrées sur un de leurs bords par deux plots de même nature, de façon à se maintenir parallèles et à se projeter de part et d'autre des plots alternativement dans la partie gauche et dans la partie droite de la cuve. Le serrage en est fait d'une manière quelconque (dispositif extérieur au bain ou boulons traversant les anodes, et les cathodes sont disposées entre les anodes. Le courant est amené à celles-ci par les plots.

Pour éviter les pertes de tension qui se produisent dans les conducteurs avec le montage des cuves en série et qui ont une importance d'autant plus grande que la tension des cuves est plus faible, G. CHARBONNEAU ⁽²⁾ fait usage d'une seule cuve cloisonnée dont les cloisons laissent passer les électrodes, anodes dans un compartiment, cathodes dans le compartiment voisin. L'assemblage de ces deux électrodes est fait de manière à éviter l'attaque.

Dans l'électrolyse des solutions de chlorure, afin d'obtenir à volonté du chlore ou des chlorates, P. BUNET et H. BARNARD ⁽³⁾ emploient une cuve en ciment a (fig. 4) traversée

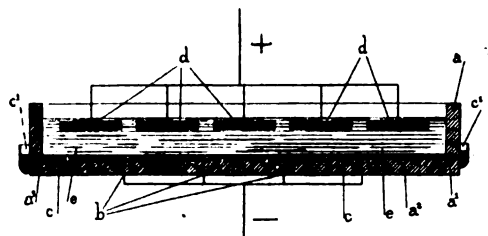


Fig. 4. — Cuve électrolytique en béton de P. Bunet et H. Barnard pour l'obtention du chlore ou des chlorates.

par les prises de courant b reliées au pôle négatif et venant en contact avec la couche de mercure e dans le cas de préparation du chlore. Le mercure venant du réservoir c₁ par le trou a₁ s'écoule sur le fond a₂ légèrement incliné de la cuve et va par a₃ dans le réservoir c₂ où il est dépouillé du sodium ou du potassium. Les anodes d plongeant dans la solution de chlorure sont en charbon, platine ou autre conducteur approprié.

Lorsqu'on veut obtenir les chlorates, on enlève le mercure et on place au fond de la cuve des cathodes en fer, fonte, acier ou charbon. On peut, d'ailleurs, les y laisser en permanence pour n'avoir qu'à faire circuler le mercure quand on veut fabriquer le chlore.

Dans les procédés au mercure pour la fabrication électrolytique du chlore et de la soude, on fait circuler le mercure de telle manière que l'amalgame de sodium provenant de la cuve électrolytique arrive dans un compartiment spécial appelé pile où il est attaqué par l'eau, l'action étant activée par la fermeture d'un circuit électrique peu résistant. Le mercure dépouillé de son sodium retourne alors dans la

⁽¹⁾ Nouveau dispositif d'électrodes pour cuve électrolytique. *Brevet français n° 508 486*, demandé le 8 mars 1916, délivré le 26 juillet 1920, publié le 13 octobre 1920, 95 lignes, 2 figures.

⁽²⁾ Nouvelle disposition relative aux bacs électrolytiques. *Brevet français n° 508 487*, demandé le 8 mars 1916, délivré le 16 juillet 1920, publié le 13 octobre 1920, 39 lignes, 1 figure.

⁽³⁾ Procédé permettant l'utilisation des cuves électrolytiques pour produire à volonté du chlore ou des chlorates. *Brevet français n° 502 385*, demandé le 14 avril 1917, délivré le 15 mars 1920, publié le 7 juin 1920, 99 lignes, 1 figure.

cuve. L'installation comporte donc autant de piles qu'il y a de cuves.

P. BUNET et H. BARNARD ⁽¹⁾ remplacent cette grande quantité de piles par une pile unique pour une série de cuves électrolytiques, ce qui présente les avantages d'une économie d'installation, d'une réduction de la dimension des bâtiments, d'une économie de mercure, d'une production de soude plus concentrée et d'une plus grande facilité de nettoyage du mercure.

La figure 5 donne une vue schématique en plan de l'installation.

Des cuves a, le mercure s'écoule par la conduite a₁ inclinée vers la pile b où se fait la décomposition de l'amal-

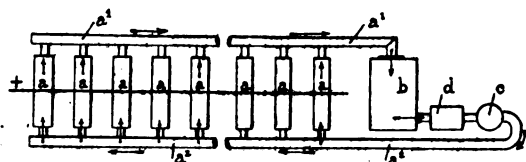
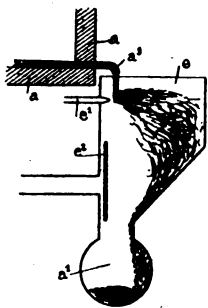


Fig. 5 et 6. — Variante de l'électrolyseur P. Brunet et H. Barnard et dispositif pour la division du mercure.



game. Elle peut être chauffée par des serpentins à vapeur et on peut facilement recueillir l'hydrogène. Dans le réservoir d, on purifie le mercure qui est renvoyé, à l'aide d'une pompe c, dans les cuves par la conduite a₂.

Différents dispositifs sont prévus pour éviter la dérivation de courant de cuve à cuve par le mercure. L'un de ceux-ci consiste à diviser le mercure en particules très fines à la sortie des cellules et à leur rentrée. La figure 6 représente le cas d'emploi de l'air comprimé pour y parvenir. On réalise aussi cette division par l'action d'un champ magnétique ou par des charges statiques à haute tension. On peut également rendre discontinu l'écoulement du mercure à sa sortie et à sa rentrée des cuves en ouvrant successivement, dans un ordre déterminé, les orifices commandant la circulation du mercure, de façon à éviter que plusieurs filets de mercure ne causent des dérivations gênantes, ce qui peut être réalisé notamment par une commande électrique ou mécanique de ces orifices.

Ce qui caractérise l'électrolyseur H. DEBAUGE ⁽²⁾, c'est l'emploi de la force centrifuge qui produit un classement par ordre de densités des produits résultant de l'électrolyse, les plus lourds se portant vers la périphérie et les plus légers comme les gaz vers le centre, ce qui évite la formation de gaines gazeuses autour des électrodes et, en assurant le départ des produits finaux vers les couches extrêmes de l'électrolyse, laisse celui-ci de composition chimique constante dans la zone où agissent les électrodes.

La figure 7 représente une coupe verticale par l'axe d'un

électrolyseur de ce type supposé en marche et traitant le chlorure de sodium en vue de la production de l'hypochlorite de sodium. La solution de chlorure de sodium est introduite dans la cuve cylindrique tournante A A par un tube B. Cette cuve est solidaire des inducteurs CC communs au moteur de rotation de la cuve et à la génératrice fournissant le

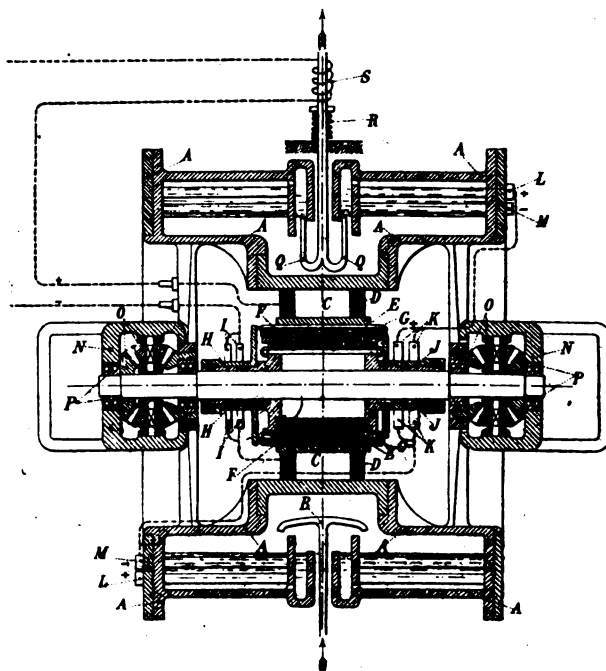


Fig. 7. — Electrolyseur H. Debauge à force centrifuge en ordre de marche.

courant d'électrolyse. Un même induit formé des tôles EE porte les deux enroulements : F du moteur et G de la génératrice. L'induit E tourne dans les paliers NN et, par l'intermédiaire des différentiels à satellites fixes, son mouvement entraîne la rotation de l'inducteur en sens inverse.

La solution d'hypochlorite formée, refoulée vers la partie interne de l'appareil, est évacuée par un tuyau suceur QQ.

En prévision d'une interruption possible du courant alimentant l'appareil, un dispositif à ressort R est bloqué pendant la marche par l'action du solénoïde S. En cas d'interruption, le ressort R est libéré et les branches QQ assurent la vidange de la cuve avant que son mouvement de rotation soit assez amorti pour que le liquide puisse quitter la surface pour gagner la partie intérieure de l'appareil. Le mouvement en sens inverse de l'inducteur et de l'induit leur permet d'avoir une vitesse relative considérable.

Dans le procédé au mercure pour la préparation électrolytique du chlore et de la soude ou de la potasse, il se produit souvent des explosions intempestives par la combinaison violente du chlore et de l'hydrogène. Dans les procédés utilisant un diaphragme poreux, on évite ce danger, mais la solution de soude ou de potasse doit être épurée du chlorure restant et ne peut avoir qu'une concentration limitée. Si on pousse, en effet, l'électrolyse de façon à augmenter la concentration en alcali, celui-ci traversant le diaphragme, donne en présence du chlore se dégageant à l'anode des composés secondaires tels que les hypochlorites.

(1) Perfectionnements à la fabrication électrolytique du chlore *Brevet français n° 503 288*, demandé le 16 avril 1917, délivré le 15 mai 1920, publié le 7 juin 1920, 276 lignes, 8 figures.

(2) Procédé d'électrolyse aqueuse et appareil à force centrifuge pour électrolyses aqueuses. *Brevets français n° 504 094 et 504 095* demandés le 30 janvier 1918, délivrés le 3 avril 1920, publiés le 24 juin 1920, 187 lignes et une figure.

B. CATALDI (1) évite les inconvénients des deux procédés en employant l'appareil représenté en figure 8 (coupe en élévation). L'électrolyte 2 arrive par le tube 1' dans la cuve 1 et est évacué par le tube 1". A l'intérieur de 1 sont disposées plusieurs cuves secondaires 5 à fond poreux 5^a sur lequel re-

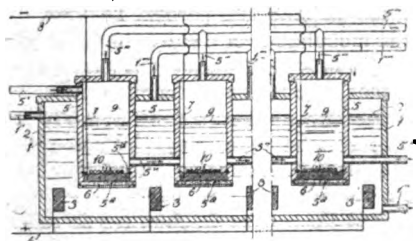


Fig. 8. — Cuve électrolytique B. Cataldi pour la préparation du chlore, de la soude ou de la potasse.

pose la couche de mercure 6 formant cathode et recevant le courant par le conducteur 7 et la barre collectrice 8. Le diaphragme poreux formant le fond de chaque cuve 5 est constitué par une toile résistante et épaisse en amiante ou par deux toiles avec carton d'amiante interposé. L'eau servant à dissoudre le métal alcalin combiné au mercure arrive par le tube 5' traverse la première cuve, ressort par le tube 5", et passe ainsi successivement dans chaque cuve où elle s'enrichit de plus en plus en alcali. L'évacuation définitive se faisant par le tube 5x.

Les anodes étant disposées en 3, les bulles de chlore ne peuvent se fixer sous les diaphragmes et sont recueillies à la partie supérieure de la cuve 1 par les tubes 1' reliés à un collecteur unique. De même des tubes 5" partant des cuves secondaires 5 servent à évacuer l'hydrogène provenant de l'attaque de l'amalgame par l'eau. Cette attaque est activée par la présence sur le mercure de morceaux de charbon ou de graphite 10.

Pour éviter tout passage de liquide des cuves 5 à la cuve 1, on dispose tout autour, au fond des premières et à hauteur du niveau du mercure, une nervure en fer ou autre métal s'amalgamant, ce qui rend le ménisque du mercure concave au lieu d'être convexe.

Pour produire les hypochlorites, P. PESTALOZZA (2) emploie la cuve électrolytique représentée en figures 9, 10 et 11 (coupes longitudinale, en plan et transversale). La cuve 1 divisée en cellules 2 par les parois 3 est obtenue par moulage

sous pression d'un mélange de ciment, amiante et eau. Après séchage, on imbibé à chaud de paraffine et d'huiles lourdes, la cuve ainsi obtenue étant inattaquable par le chlore. Dans chaque cellule est disposée une anode 4 en platine entre deux cathodes 5 en graphite disposées à des hauteurs différentes, la plus élevée se trouvant du côté de l'ouverture 3' ou 3" d'entrée de l'électrolyte dans la cellule. Dans les conduites de réfrigération 7 et 8, on fait circuler de l'eau froide. Ces conduites sont en verre et réunies par des tubes de caoutchouc. La solution de chlorure arrive dans la cellule 1' et, par les ouvertures 3', 3", passe successivement en suivant un parcours en zig-zag, à travers toutes les cellules pour sortir de la cellule 2" par la bouche de vidange 9. Le chlore libre formé à l'anode réagit sur l'hydroxyde formé à la cathode et le liquide circulant s'enrichit de plus en plus en hypochlorite. La réfrigération a pour but d'éviter une élévation de température et de déterminer la circulation.

Le même auteur P. PESTALOZZA (1) fait également usage d'une cuve électrolytique construite comme ci-dessus, mais dans laquelle les différentes cellules sont formées par des électrodes bipolaires, anodes sur une face et cathodes sur l'autre.

ELECTROMÉTALLURGIE ET GALVANOPLASTIE. — Lorsqu'on dépose électrolytiquement le zinc, le cuivre ou d'autres métaux dans un électrolyseur à cathodes rotatives en forme de disque, il se forme des aiguilles et efflorescences de métal au bord des disques. En outre, le centre des disques étant situé au-dessus du liquide, chaque point de la surface des segments plongés dans l'électrolyte reste d'autant plus longtemps dans celui-ci qu'il est plus rapproché de la cir-

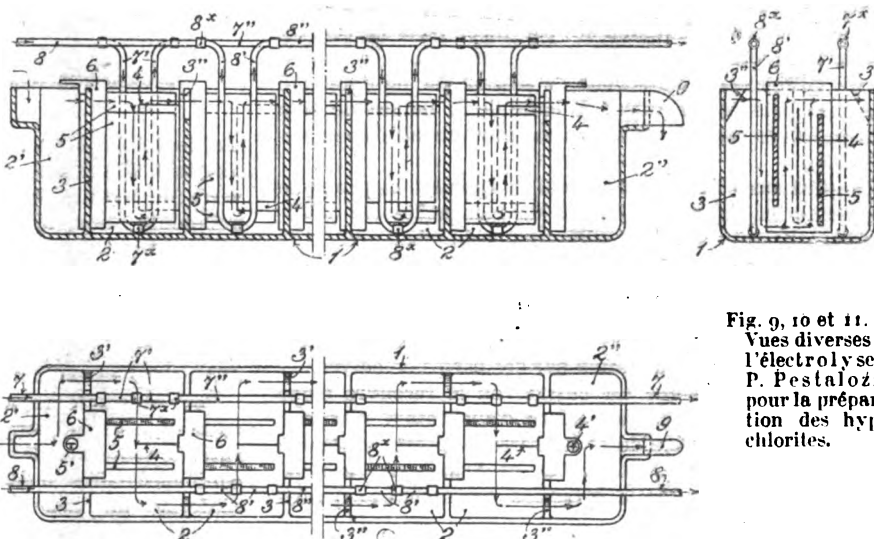


Fig. 9, 10 et 11. — Vues diverses de l'électrolyseur P. Pestalozza pour la préparation des hypochlorites.

conférence, d'où augmentation d'épaisseur du dépôt du centre à la périphérie.

La SOCIÉTÉ DE MÉTALLURGIE ÉLECTROLYTIQUE (2) évite le pre-

(1) Procédé et appareil pour la décomposition électrolytique des chlorures. *Brevet français n° 501 809*, demandé le 15 avril 1919, délivré le 22 janvier 1920, publié le 9 avril 1920, 426 lignes, 7 figures.

(2) Appareil électrochimique pour la production directe de solutions d'hypochlorites par électrolyse de solutions de chlorures. *Brevet français n° 505 908*, demandé le 10 novembre 1919, délivré le 17 mai 1920, publié le 10 août 1920, 251 lignes, 4 figures.

(1) Appareil électrochimique pour la production directe de solutions d'hypochlorites par électrolyse de solutions de chlorures. *Brevet français n° 505 874*, demandé le 8 novembre 1919, délivré le 17 mai 1920, publié le 9 août 1920, 223 lignes, 4 figures.

(2) Appareil pour la production par électrolyse du zinc, du cuivre ou d'autres métaux. 1^{re} addition n° 20 995 au brevet 493 613, demandé le 16 juillet 1917, délivré le 13 novembre 1919, publié le 5 février 1920, 174 lignes, 1 figure.

mier inconvénient en recouvrant le bord des disques d'un bourrelet isolant (cire, résine, bitume ou paraffine) ou en donnant aux anodes une forme de segment circulaire d'un diamètre inférieur à celui des disques-cathodes. Le deuxième inconvénient est évité en échancrant le centre des anodes pour leur donner la forme d'un segment de couronne et en disposant une plaque de bois dans l'échancrure de manière à avoir sur la cathode un dépôt de la largeur de cette couronne. Un autre moyen consiste à donner aux anodes une épaisseur diminuant du centre à la périphérie ce qui amène une augmentation correspondante de la distance entre anode et cathode. Tout ceci est combiné au frottement par des balais du métal déposé.

Pour purifier les solutions de sulfate de zinc provenant de la lixiviation des minerais, on les traite en général par le carbonate de calcium afin de précipiter le fer, puis par du zinc finement divisé pour précipiter l'argent, l'arsenic, l'antimoine, le cuivre, le cadmium, etc. Mais ces traitements sont inefficaces pour l'élimination du cobalt qui est justement une des substances qui s'opposent le plus au dépôt électrolytique du zinc. L'effet nuisible des impuretés peut, il est vrai, être sérieusement réduit en ajoutant à l'électrolyte une légère proportion de colle; mais le cobalt s'accumulant, il faut augmenter la proportion de colle.

La Société ELECTROLYTIC ZINC CO OF AUSTRALASIA PROPRIETARY LTD ⁽¹⁾ opère la purification par cycles intermittents. Elle traite d'abord par le carbonate de calcium, puis par le zinc en poudre. On électrolyse ensuite en ajoutant de la colle (5 livres de colle par tonne de zinc produit pour une solution renfermant jusqu'à 100 milligrammes de cobalt par litre et une livre supplémentaire de colle par 50 milligrammes de cobalt par litre en plus). Mais il ne faut pas poursuivre l'opération quand l'accumulation du cobalt atteint 200 à 300 milligrammes par litre. Dans ce cas, on ajoute à la solution 1,5 milligramme de sulfate de cuivre et 1,5 milligramme d'arséniate de sodium par milligramme de cobalt présent. On introduit enfin de la poudre de zinc (8 à 10 fois le poids de sel de cuivre) et on chauffe à environ 75° C ⁽²⁾.

On peut aussi éliminer le cobalt en ajoutant du peroxyde de plomb en présence d'un sel de manganèse (10 milligrammes de manganèse par milligramme de cobalt présent et six parties de peroxyde de plomb fraîchement préparé ⁽³⁾).

Pour électrolyser le zinc de ses solutions de sulfate (obtenues par exemple par lessivage des minerais), on fait en général usage de cathodes en aluminium suspendues en rivan les feuilles d'aluminium sur des barres en cuivre.

Pour éviter l'attaque du cuivre, on le recouvre d'une feuille de plomb. Mais la surface d'aluminium comprise entre le niveau du liquide et les barres-supports s'attaque.

La Société ELECTROLYTIC ZINC CO OF AUSTRALASIA PROPRIETARY LTD ⁽⁴⁾ protège de la corrosion ces surfaces exposées

(1) Perfectionnements au traitement des minerais zincifères pour la récupération du zinc par l'électrolyse. *Brevet français* n° 499 074, demandé le 6 mai 1919, délivré le 7 novembre 1919, publié le 30 janvier 1920, 197 lignes.

(2) Perfectionnements au traitement des solutions de zinc préalablement à la récupération du zinc par dépôt électrolytique. *Brevet français* n° 499 911, demandé le 24 septembre 1918, délivré le 2 décembre 1919, publié le 25 février 1920, 150 lignes.

(3) Perfectionnements au traitement des solutions de zinc préalablement à la récupération du zinc par dépôt électrolytique. *Brevet français* n° 499 910, demandé le 24 septembre 1918, délivré le 2 décembre 1919, publié le 26 février 1920, 184 lignes.

(4) Perfectionnements à la récupération du zinc par l'électrolyse. *Brevet français* n° 507 019, demandé le 3 décembre 1919, délivré le 12 juin 1920, publié le 3 septembre 1920, 189 lignes, 1 figure.

des cathodes en les recouvrant d'un dépôt électrolytique de zinc. Celui-ci est obtenu en vingt-quatre heures avec une densité de courant de 25 à 30 A pour 9 dm².

Dans l'électrolyse, et principalement dans celle des électrolytes fondus, il est difficile d'éviter que les produits de l'anode ne réagissent sur ceux de la cathode. La méthode de la cloche, les diaphragmes poreux, l'emploi d'électrodes intermédiaires métalliques et d'autres procédés ont été préconisés; mais, ou bien ils n'empêchent pas complètement la diffusion, ou bien ils augmentent la résistance.

La Société NORSKYHYDRO-ELEKTRISK KVAELSTOFAKTIESELSKAB ⁽¹⁾ parviendrait au résultat en employant comme diaphragmes certains conducteurs de deuxième classe, tels que le verre, les matières céramiques non poreuses.

Dans le cas de l'électrolyse du chlorure de sodium fondu, par exemple, on opère de la manière suivante, l'électrolyte étant avantageusement un mélange de 44 parties en poids de chlorure de sodium pour 56 parties de chlorure de potassium. L'électrolyseur représenté en figure 12 comprend un

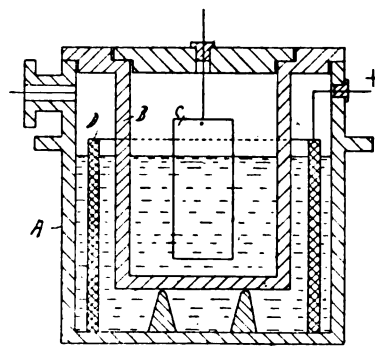


Fig. 12. — Cuve électrolytique spécialement conçue pour les électrolytes fondus.

récepteur A (en fer ou en carbone par exemple), un autre récepteur B agissant comme diaphragme et composé de verre de sodium de 2 à 3 mm d'épaisseur comportant de préférence une armature en mailles métalliques. La cathode C est disposée dans le compartiment B tandis que l'anode D formée d'un cylindre de carbone entoure ce compartiment. Le mélange des chlorures fond à 660° C et l'électrolyse se fait à 700° C. La tension est de 7 à 10 V. La matière du diaphragme agit comme un électrolyte intermédiaire, les ions-sodium véhiculant le courant.

Pour obtenir le magnésium métallique, on se sert du même appareil, mais on charge le compartiment anodique de chlorure de sodium et de chlorure de potassium en proportions équimoléculaires tandis que le compartiment cathodique renferme un mélange équimoléculaire de chlorures de magnésium, de potassium et de sodium, auquel on a ajouté 10 pour 100 de fluorure de sodium. L'électrolyse se fait entre 700 et 750° C sous une tension de 7 à 10 V.

Pour obtenir le zinc métallique, l'anode est placée dans le compartiment interne et la cathode, dans le compartiment externe. Dans le premier, on introduit le mélange équimoléculaire de chlorures de potassium et de sodium et dans le second, un mélange équimoléculaire de chlorures de zinc, de potassium et de sodium auquel on a ajouté 10 pour 100 de fluorure de sodium. L'électrolyse se fait à 700° C sous

(1) Procédé et appareil pour l'électrolyse d'électrolytes fondus. *Brevet français* n° 501 596, demandé le 10 juillet 1919, délivré le 31 janvier 1920, publié le 17 avril 1920, 165 lignes, 1 figure.

une tension de 7 à 10 v. Le zinc est recueilli au fond de l'électrolyseur.

L'électrolyseur C.-M. WALTER ⁽¹⁾ est plus particulièrement destiné au traitement de déchets étamés pour en récupérer l'étain. Il se compose d'un tambour polygonal servant de récipient aux déchets et divisé en plusieurs compartiments (3 par exemple) par des anodes radiales. Les parois de ce tambour sont perforées. Les cathodes sont disposées extérieurement au tambour et à l'intérieur de la cuve.

Pour durcir et rendre inabsorbants les corps poreux tels que le plâtre, le staff, etc., avant de les recouvrir d'un dépôt galvanique, A. WOLF ⁽²⁾ immerge les corps poreux pendant 15 à 20 minutes dans un mélange fondu à 110-115°C de deux parties en poids de paraffine, deux parties de résine et une partie de bitume de Judée. Ainsi imprégnés les corps peuvent résister à l'action des bains de galvanoplastie.

Pour obtenir sur le fer, sans interposition de cuivre un dépôt de métal précieux résistant à 600°C, P.-E.-L. PINART ⁽³⁾ chauffe les objets au rouge cerise et les plonge dans l'eau ou dans une solution diluée de potasse pour éviter l'oxydation. On les décape ensuite électrolytiquement à haute densité de courant en les traitant comme anodes dans une solution d'acides nitrique et chlorhydrique de 20 à 24° Baumé. Les objets étant polis, on les charge en cathodes dans un bain de sulfate métallique puis dans un bain d'argent de 20 à 30° Baumé où l'on produit une première couche très adhérente en faisant passer pendant quelques instants une forte densité de courant. L'objet est enfin porté dans un bain d'argenture ordinaire où il reçoit l'épaisseur d'argent désirée.

Pour recouvrir d'un dépôt métallique électrolytique un corps en matière isolante, on le recouvre d'abord en général d'une couche d'un corps conducteur tel que le graphite. Mais dans ce cas, la surface conductrice n'est pas homogène.

Le procédé de E. BENEVENTANI ⁽⁴⁾ consiste à appliquer d'abord sur les parties à recouvrir un tissu très mince et à très petites mailles en même métal que celui du dépôt. Dans ces conditions le métal déposé électrolytiquement se fixe fortement à l'objet en matière isolante.

APPLICATIONS DIVERSES DE L'ÉLECTROLYSE. — E. SLATINEANU ⁽⁵⁾ a étudié à l'Institut d'électrochimie à Milan un électrolyseur-élément. C'est un voltamètre en forme de H dont les deux branches inférieures reçoivent les deux électrodes de platine de l'électrolyseur et dont les deux branches supérieures sont munies également d'électrodes de platine reliées à un circuit extérieur, la branche horizontale du tube étant pourvue d'une cloison poreuse. On remplit d'une solution d'acide sul-

furique l'appareil qui fonctionne comme électrolyseur à la partie inférieure et comme générateur à la partie supérieure. D'après l'inventeur, grâce à cette récupération d'énergie dans le circuit extérieur, la consommation d'énergie serait réduite de moitié. En introduisant dans la branche oxygène une lampe en quartz, la tension du générateur, variable avec l'intensité de la lumière ultra-violette, atteindrait environ 2 v et le courant fourni par le générateur serait égal à celui de l'électrolyseur de sorte que l'électrolyse de l'eau se ferait avec une dépense d'énergie égale à celle dépensée dans la lampe à vapeur de mercure.

Dans l'électrolyse de l'eau en vue de la préparation de l'hydrogène et de l'oxygène, les électrodes en fer employées en solution alcaline s'attaquent rapidement lorsque l'électrolyte n'est pas complètement exempt de sulfates et de chlorures. Il y a aussi attaque des électrodes en fer lorsqu'on électrolyse des solutions de nitrites dans le but de produire de l'ammoniaque et une solution alcaline, le fer provoquant en outre dans ce cas des réactions secondaires occasionnant de grandes pertes d'azote qui se dégage à l'état élémentaire.

LA SOCIÉTÉ NORSK HYDRO-ELEKTRISK KVAELSTOFKTIKESKAB ⁽¹⁾ évite ces difficultés et augmente la durée des électrodes en procédant à l'électrolyse en présence d'un sel de silicium. Une très petite quantité de silicate de sodium suffit pour arriver à ce but. Voici, par exemple, les résultats de deux essais d'électrolyse de nitrites à 5 A/dm², sans addition et avec addition de silicate de sodium, correspondant à 0,5 pour 100 de silice.

| | Sans addition. | Avec addition. |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Tension du bain, en volts,..... | 3,0 | 2,2 |
| Attaque des électrodes, en un an. | plusieurs millimètres | presque inappréciable |
| Pertes d'azote,.... | jusqu'à 60 pour 100 | environ 5 pour 100 |
| Rendement en quantité,..... | moins de 50 pour 100 | environ 90 pour 100. |

A. PIRAINO DE CORRADI ⁽²⁾ électrolyse l'eau à l'aide d'une installation électrique actionnée par le vent, les vagues, etc.

L'électrolyseur J.-H. LEVIN ⁽³⁾ destiné à la préparation de l'hydrogène et de l'oxygène comprend une cuve divisée en trois compartiments séparés par des diaphragmes en amiante. Le compartiment central renferme l'électrode positive et les deux autres, les électrodes négatives. Des dispositions spéciales sont prises, notamment pour permettre la circulation de l'électrolyte sans entraînement de bulles de gaz d'un compartiment à l'autre, et pour assurer la garniture hermétique des prises de courant traversant les chambres à gaz.

La préparation électrolytique des permanganates est réalisée par A.-L.-E. GRÉSY ⁽⁴⁾ à l'aide d'une série de cuves disposées en colonne verticale dans une chambre spéciale chauffée par un radiateur à vapeur maintenant la température de la chambre entre 60 et 70°C. Une cheminée à tirage réglable permet le départ des gaz.

⁽¹⁾ Procédé pour l'électrolyse de solutions aqueuses. *Brevet français n° 501 127*, demandé le 28 juin 1919, délivré le 17 janvier 1920, publié le 2 avril 1920, 73 lignes.

⁽²⁾ Procédé et appareil pour l'électrolyse de l'eau. *Brevet français n° 505 949*, demandé le 11 novembre 1919, délivré le 19 mai 1920, publié le 10 août 1920, 74 lignes, 2 figures.

⁽³⁾ Perfectionnements aux éléments électrolytiques. *Brevet français n° 508 243*, demandé le 9 janvier 1920, délivré le 19 juillet 1920, publié le 5 octobre 1920, 596 lignes, 6 figures.

⁽⁴⁾ Procédé électrolytique de transformation du manganate en permanganate et appareil électrolyseur qui s'y rapporte. *Brevet français n° 504 316*, demandé le 31 janvier 1918, délivré le 10 avril 1920, publié le 30 juin 1920.

⁽¹⁾ Appareil d'électrolyse. *Brevet français n° 500 583*, demandé le 10 juin 1919, délivré le 24 décembre 1919, publié le 17 mars 1920, 184 lignes, 5 figures.

⁽²⁾ Nouvelle composition pour durcir et rendre inabsorbants les corps poreux tels que le plâtre, le staff, etc., en vue de les utiliser directement ou de les recouvrir de dépôts galvaniques par électrolyse. *Brevet français n° 507 636*, demandé le 22 décembre 1919, délivré le 30 juin 1920, publié le 30 septembre 1920, 147 lignes.

⁽³⁾ Procédé d'application directe, par voie électrolytique, des métaux précieux sur fer, fonte, acier (sans interposition de cuivre) donnant des objets résistants au feu (600°). *Brevet français n° 507 675*, demandé le 23 décembre 1919, délivré le 1^{er} juillet 1920, publié le 21 septembre 1920, 149 lignes.

⁽⁴⁾ Procédé de galvanisation basé sur l'application d'un tissu métallique pour servir de cathode; E. BENEVENTANI. *Brevet français n° 509 320*, demandé le 31 janvier 1920, délivré le 13 août 1920, publié le 6 novembre 1920, 88 lignes, une figure.

⁽⁵⁾ Méthode d'électrolyse avec production d'un courant utilisable à l'extérieur. *Brevet français n° 503 566*, demandé le 12 juillet 1917, délivré le 20 mars 1920, publié le 14 juin 1920, 468 lignes, 2 figures.

Chaque cuve représentée en figures 13 et 14 (élévation et plan) est formée d'une caisse métallique renfermant des cloisons verticales minces 7 disposées en chicane et laissant des communications 8 alternant d'un compartiment à l'autre. Dans chaque compartiment est introduite une lame métallique 10 de faible hauteur formant cathode, toutes les lames étant reliées à la barre de connexion 11. La cuve métal-

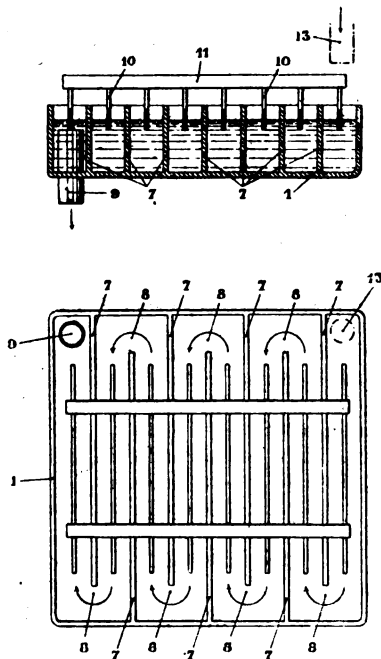


Fig. 13 et 14. — Electrolyseur Grésy pour la transformation du manganate en permanganate.

lique et ses cloisons forment l'anode à grande surface facilitant ainsi l'oxydation du manganate. Au contraire, la petite surface de cathode atténue l'effet réducteur de l'hydrogène qui se dégage très près de la surface et ne traverse qu'une mince couche d'électrolyte.

La solution aqueuse chaude (à 80°C) de manganate de potassium vert arrive par le tuyau 13 dans la cuve supérieure, circule en zigzag dans cette cuve, puis tombe dans la cuve immédiatement au-dessous par le trop-plein 9 et ainsi de suite. Dans la cuve inférieure, on recueille la solution rouge de permanganate de potassium qu'il n'y a plus qu'à faire cristalliser. Les cristaux de permanganate sont enfin séchés dans le vide.

Pour produire électrolytiquement l'oxyde de mercure, la Société THE SHAWINIGAN WATER AND COMPANY (1) emploie l'appareil représenté en figure 15 en élévation. La cuve circulaire 11 en fer a ses côtés protégés par un revêtement 14 en béton enduit d'asphalte. Elle constitue l'anode et renferme le mercure. Des bossages 15 taraudés pour recevoir des vis de calage permettent le nivellement. Le courant arrive en 21 à la cathode qui comprend un moyeu 19, des barres radiales 22, des lames 24 entre ces barres laissant entre elles des espaces 25 pour l'échappement des gaz. Toute la cathode est en fer ou en acier nickelé. Un dispositif agitateur 32 entre le mercure et la cathode et pourvu de lames

inclinaison comme une hélice travaillant dans un plan horizontal, assure une circulation montante et descendante de l'électrolyte ainsi qu'un mouvement circulaire. La tuyauterie 52 fournit l'électrolyte à l'élément et la tuyauterie 53 avec le petit pot 54 fournissent la quantité de mercure nécessaire. On admet celui-ci, de manière à former une couche d'environ

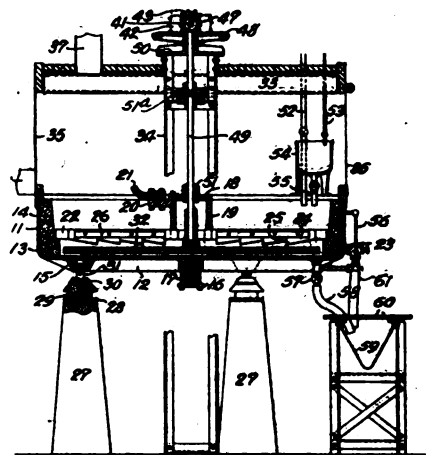


Fig. 15. — Appareil pour la préparation électrolytique de l'oxyde de mercure.

18 mm de hauteur. L'électrolyte est une solution de soude caustique à 5 à 7 pour 100. On fait passer un courant de 5 à 6 A : dm² de mercure, la tension étant de 6 à 10 v. On fait ensuite tourner à petite vitesse l'agitateur qui se trouve de 75 à 125 mm au-dessous de la cathode. Ce mouvement élimine de la surface du mercure l'oxyde de mercure aussi vite qu'il se forme. Les gaz s'échappent en 37 et 38. On ajoute de temps en temps du mercure et dès que l'électrolyte est très chargé par l'oxyde de mercure, on fait tourner l'agitateur à plus grande vitesse et on soutire l'électrolyte dans l'auge 59 par le tuyau 61. On sépare enfin l'oxyde de mercure.

Pour décaper le fer et l'acier sans attaquer le métal, ce que font les procédés chimiques (traitement par les acides chlorhydrique ou sulfurique), Q. MARINO (1) emploie un procédé électrolytique.

L'objet en fer ou en acier à décaper est pris comme cathode, en présence d'une anode en charbon ou en plomb, dans une cuve en bois plombée. L'électrolyte utilisé est une solution composée d'un sulfate et d'un fluorure (sulfates d'aluminium, de magnésium, de sodium ou de potassium et fluorures de magnésium, de sodium ou de potassium) d'une concentration de 20 à 25° B et généralement dans la proportion de trois parties de sulfate pour une de fluorure. La proportion de fluorure peut être augmentée quand la couche de rouille est épaisse, mais sans jamais admettre plus de fluorure que de sulfate. La densité de courant nécessaire est de 10 à 30 A : dm² et la température de l'électrolyte doit être de 65 à 80° C.

Pour affûter les limes, râpes et autres outils, G.-M. DEBIAS (2) les monte comme cathodes dans une cuve électroly-

(1) Procédé électrolytique pour décaper le fer et l'acier. *Brevet français n° 502 208*, demandé le 4 août 1919, délivré le 16 février 1920, publié le 7 mai 1920, 79 lignes.

(2) Perfectionnements aux appareils électrolytiques employés à l'affûtage des limes, râpes et autres outils. *Brevet français n° 507 049*, demandé le 4 décembre 1919, délivré le 12 juin 1920, publié le 3 septembre 1920, 146 lignes, 4 figures.

(1) Appareil électrolytique pour l'oxydation du mercure. *Brevet français n° 504 181*, demandé le 24 septembre 1919, délivré le 7 avril 1920, publié le 26 juin 1920, 281 lignes, 3 figures.

dra construire deux barrages, un petit sur un ruisseau adjoint renfermant comme anodes des plaques de charbon et comme électrolyte une solution acide (nitrique, sulfurique ou chlorhydrique). L'appareil fonctionne comme pile ou comme électrolyseur. On ajoute à l'électrolyte du bioxyde de baryum afin de précipiter l'oxyde ferrique. L. J.

L'aménagement de l'Aar supérieur d'après le projet des Bernische Kraftwerke (1).

Les Bernische Kraftwerke ont commencé, dans l'été de 1917, la construction d'une centrale sur l'Aar, près de Muhleberg. Cette centrale qui a été mise en service en août 1920, est

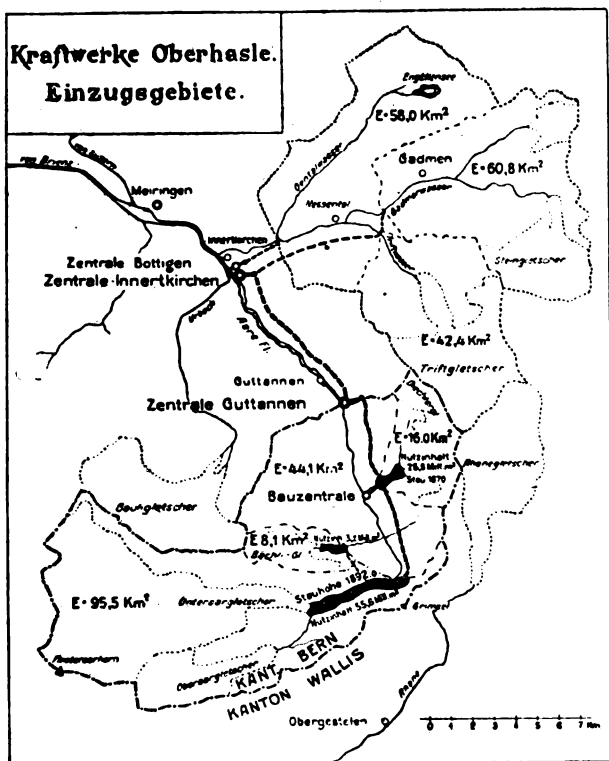


Fig. 1. — Carte du bassin supérieur des centrales de l'Aar supérieur.

devenue insuffisante et un nouveau projet comporte la création, dans la haute vallée de l'Aar, de plusieurs bassins d'accumulation qui alimenteront deux centrales étagées sous deux hauteurs de chutes considérables. La figure 1 montre l'étendue des bassins versants, l'emplacement et la superficie des bassins d'accumulation à créer et les emplacements des canaux d'amenée et des centrales de Guttannen et d'Innertkirchen. La figure 2 représente le profil en long du projet d'aménagement de l'Aar supérieur. Les précipitations atmosphériques sont en moyenne de 2 m par an et les débits seront en moyenne de 5,15 et 6 m³ : s à Guttannen et à Innertkirchen respectivement. Pour maintenir ces débits constants, les bassins d'accumulation devront avoir les volumes suivants : lac de Bächlisboden, 3 200 000 m³; lac de Grimsel, 55 600 000 m³; lac de Gelmer, 25 500 000 m³; soit un total de 84 300 000 m³. Chaque mètre cube fournira à l'usine de

Guttannen 1,5 kw-h et à celle d'Innertkirchen 0,9 kw-h. Ces centrales seront prévues pour pouvoir utiliser pendant huit heures par jour tout le débit disponible, c'est-à-dire 15,5 m³ : s à Guttannen et 18 m³ : s à Innertkirchen; les constantes des centrales seront, par suite, les suivantes :

| | Guttannen. | Innertkirchen. |
|--------------------------------------------|-------------|----------------|
| Puissance aménagée, en chevaux | 120 000 | 90 000 |
| Chute brute en mètres..... | 758 à 708 | 466 à 460 |
| Chute nette..... | 730 à 662 | 458 à 431 |
| Puissance moyenne annuelle, en ch..... | 40 800 | 29 400 |
| Energie annuelle théorique, en kw-h..... | 240 000 000 | 170 000 000 |
| Energie supplémentaire d'été, en kw-h..... | 90 000 000 | 110 000 000 |
| Energie totale annuelle, en kw-h | 330 000 000 | 280 000 000 |

En y ajoutant 11 millions de kilowatts-heure pour la production de la centrale de Bottingen qui servira à fournir la force motrice pour les travaux d'aménagement, on arrive à une énergie moyenne totale de 421 millions de kilowatts-heure, avec un supplément de 206 millions de kilowatts-heure pendant l'été.

Étant donnée la haute altitude du pays, les journées de travail effectif seront réduites à une centaine par an. Il sera donc nécessaire d'installer un chemin de fer spécial desservant les chantiers. Cette ligne partira de Meiringen et aboutira à Guttannen; elle sera à voie étroite et comportera un tunnel de 1 335 m de longueur, le rayon minimum sera de 200 m, la pente maximum de 25 mm : m et la pente moyenne de 7 mm : m. La longueur sera de 5,7 ou 4,7 km suivant la variante qui sera adoptée pour le tracé de la ligne. A la station d'Innertkirchen sera installé un atelier avec remises. Après cette station, la ligne monte plus rapidement, la pente moyenne étant de 51 mm : m avec un maximum de 62 mm : m et de nombreuses courbes de 80 m de rayon et un pont en béton de 48 m d'ouverture au-dessus de la rivière. Des précautions spéciales seront prises contre les avalanches. A Guttannen, le chemin de fer sera prolongé par un câble transporteur aérien de 9,8 km de longueur aboutissant à Nollen (altitude 1 975 m) près du grand barrage de Grimsel. Ce câble franchira une différence de niveau de 910 m et comportera un embranchement de 1,2 km de longueur allant de Hinterstock (1 710 m) à Gelmer (1 850 m) pour desservir le chantier du barrage de Gelmer. La plus grande portée de ce câble sera de 815 m. Le trafic à assurer atteindra 830 000 t-km; la distance entre les wagons sera de 180 m correspondant à un intervalle de deux minutes. Les wagons pèseront 850 kg et pourront porter 600 kg individuellement ou 1 200 kg accouplés par deux.

Pour fournir l'énergie aux besoins de l'entreprise, on projette l'installation de deux centrales à Bottingen et à Gelmer. Le lac de Gelmer sera barré par une digue de 3 m de hauteur et la centrale provisoire qu'il alimentera aura une puissance de 4000 ch. La centrale de Bottingen comportera 3 200 ch.

Le bassin d'accumulation de Bächlisboden sera formé par un barrage en pierres sèches de 250 m de longueur et 14,50 m de hauteur maximum, reconvert du côté de l'eau par un masque de ciment de 0,50 m d'épaisseur. Le déversoir se trouvera à la cote 2 179, la prise d'eau sera sur le barrage lui-même. La galerie aura une longueur de 1 440 m et une section de 1,6 m × 2 m; elle débitera 0,8 m³ : s. Le bassin d'accumulation aura une superficie de 0,335 km² et une capacité de 3 200 000 m³. Le barrage comportera 70 000 m³ de maçonnerie et 12 000 m³ de béton (fig. 3).

Pour former le bassin d'accumulation de Grimsel, il faut

(1) *Schweizerische Bauzeitung*, 3 et 9 juillet 1921. t. xxviii, p. 1-6, 22-24, 4300 mots, 14 fig.

cent et un grand dans la vallée de l'Aar à l'endroit le plus resserré (162 m de largeur) (fig. 4). Le déversoir sera à la cote 1892, la crête à la cote 1895 et les fondations seront com-

prises entre les cotes 1799 et 1809 de sorte que la hauteur du barrage sera de 83 à 96 m. Le barrage sera en béton comportant 250 à 180 kg de ciment par mètre cube et 30 pour 100 environ de blocs de granit. Il sera recouvert de blocs de granit. Le cube de béton sera de 260 000 mètres cubes dont 47 000 mètres cubes pour les fondations. Un petit barrage provisoire permettra de dériver la rivière dans une galerie latérale souterraine pour la construction du grand barrage dont le rayon de courbure sera de 200 m. Le bassin aura une superficie de 1,75 km²; on pourra le vider jusqu'à une profondeur de 67 m et utiliser ainsi un volume d'eau de 55 600 000 m³.

La galerie d'amenée aura une longueur de 5 188 m et une section de 4 m²; elle pourra débiter 12,5 m³ s et se terminera par une chambre d'eau.

Le bassin d'accumulation de Gelmer sera formé par un barrage de 480 m de long, rectiligne, en béton et aura sensiblement la même section triangulaire que le barrage de Grimsel. Toutefois, par raison d'économie, on y a prévu des cavités intérieures dont la figure 5 donne les dimensions

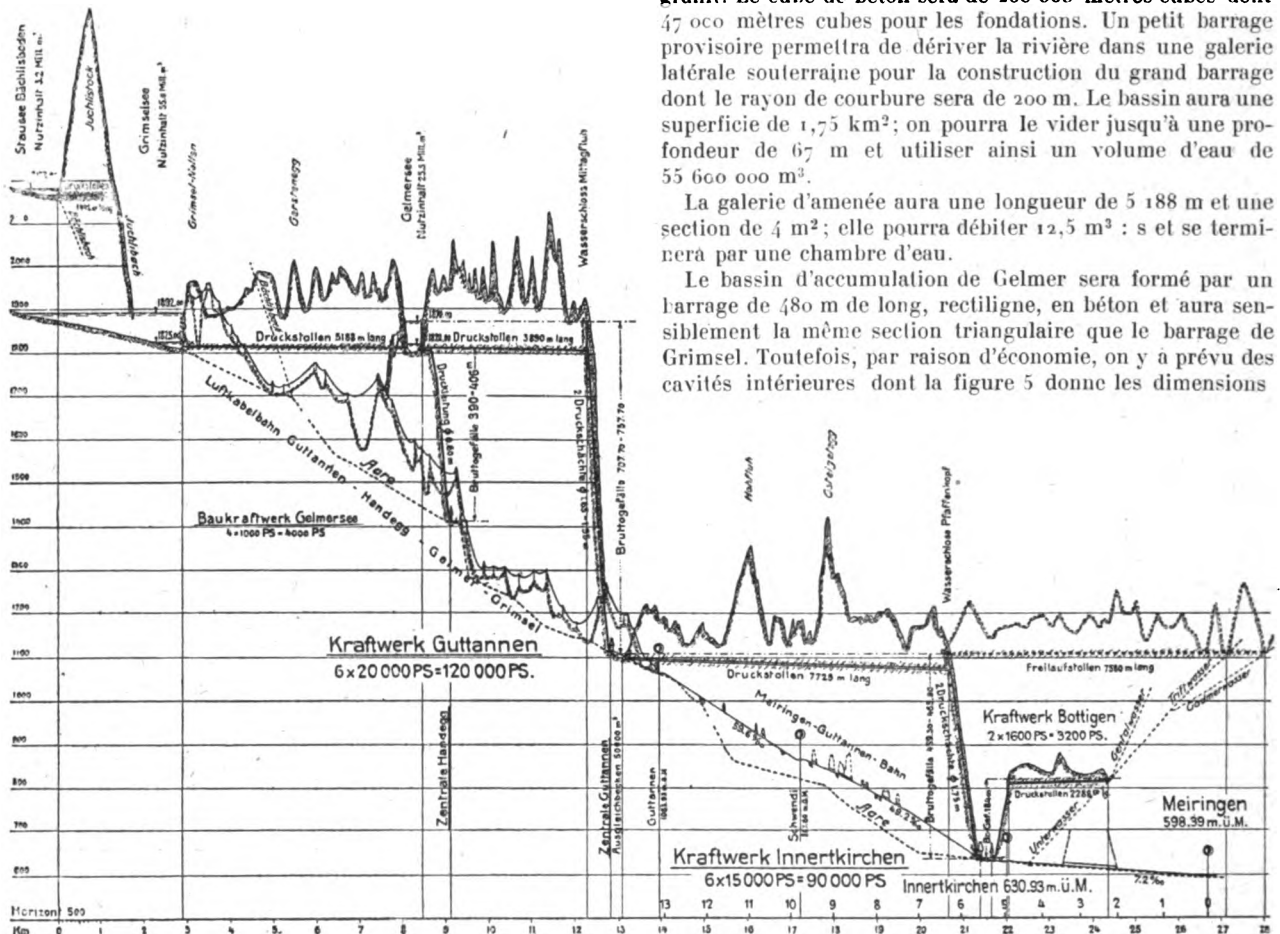


Fig. 2. — Profil en long des centrales de l'Aar supérieur.

La crête sera à la cote 1872, le déversoir à la cote 1818 et les fondations à la cote 1815, la hauteur totale sera donc de 57 m. Les fondations exigeront l'extraction de 42 000 m³ de rocher et le cube de maçonnerie sera de 240 000 m³. On a

de 1 200 m³ et comporte à son extrémité une cheminée d'équilibre de 75 m de hauteur de 5 à 7 m de diamètre et de

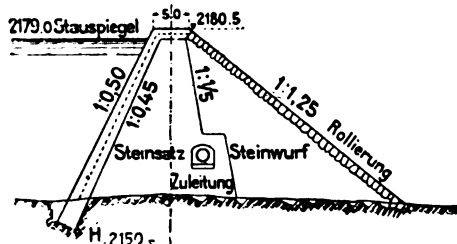


Fig. 3. — Barrage de Bächtishoden. Echelle 1 : 1 000.

prévu des joints de dilatation pour éviter les fissures. La superficie du bassin sera de 0,75 km², et sa capacité pour une différence de niveau de 50 m sera de 25 500 000 m³. La chambre d'eau fait suite à la galerie; elle a une capacité

de 1 200 m³ et comporte à son extrémité une cheminée d'équilibre de 75 m de hauteur de 5 à 7 m de diamètre et de

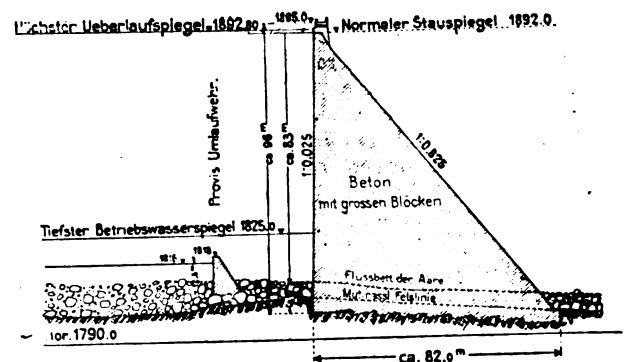


Fig. 4. — Coupe du barrage de Grimsel. Echelle 1 : 2 000.

1 500 m³ de volume utile (fig. 6 et 7). De la chambre d'eau partent deux galeries sous pression ayant une pente de

200 pour 100 et garnies intérieurement de tubes de tôle de 1 650 à 1 550 mm de diamètre. Des fenêtres d'accès sont

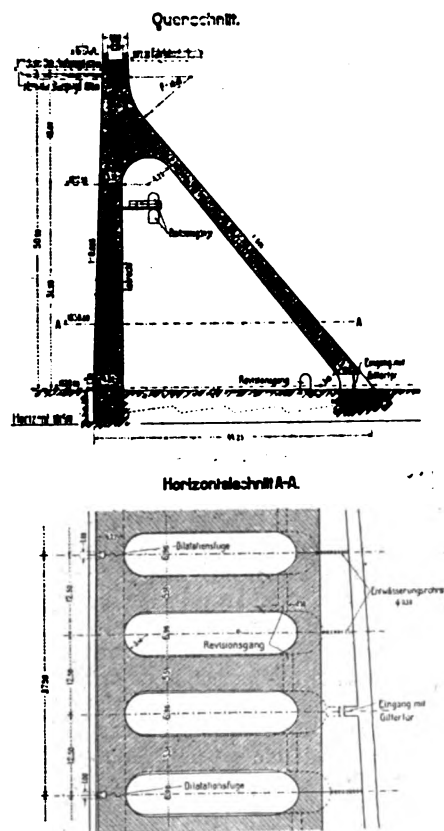


Fig. 5. — Sections verticale et horizontale du barrage de Gelmer. Echelle 1:1000.

prévues tous les 100 m pour les travaux. Ces deux galeries sous pressions aboutissent chacune à trois conduites forcées

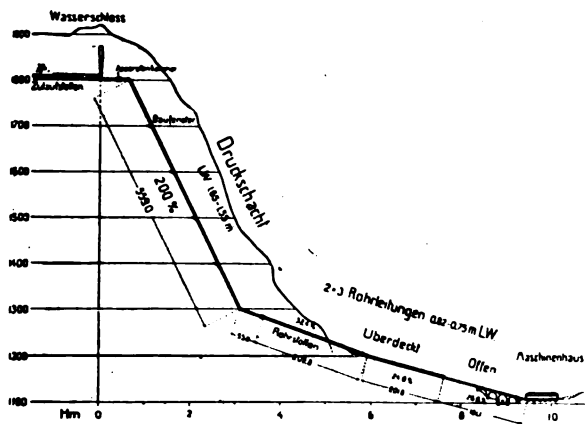


Fig. 6. — Profil en long de la centrale de Guttannen et des conduites forcées.

de 820 à 750 mm de diamètre, enterrées pour éviter les inconvénients des éboulements. Ces conduites traversent

l'Aar sur un viaduc et arrivent dans la salle des machines de Guttannen qui contiendra 6 turbines de 20 000 ch. La salle

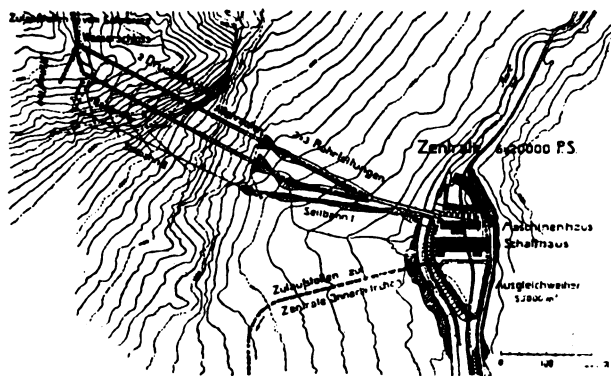


Fig. 7. — Plan de la centrale de Guttannen.

des machines et la salle des transformateurs et du tableau seront construites en travers de la vallée sur la rive gauche de la rivière (fig. 7).

A la sortie de la centrale de Guttannen se trouve un bas-

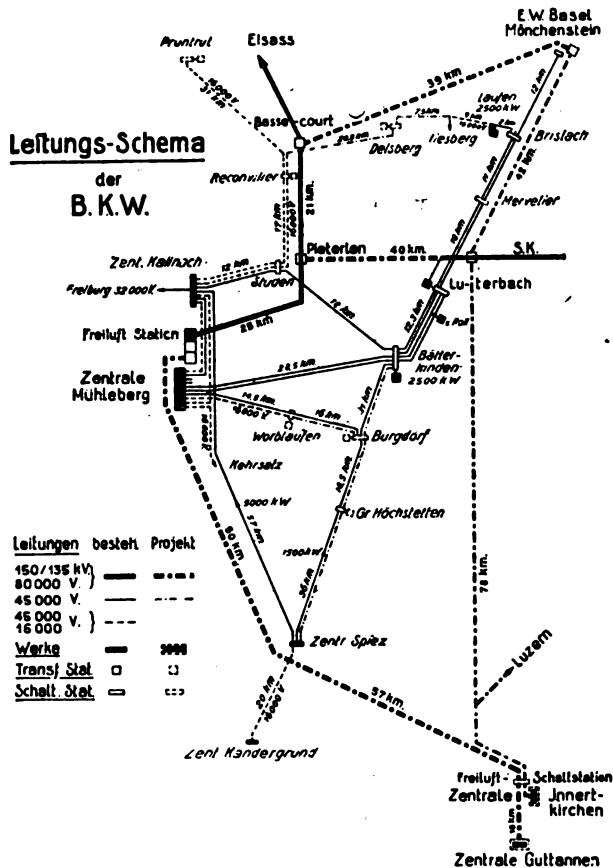


Fig. 8. — Plan des réseaux de distribution des Bernische Kraftwerke.

sin d'équilibrage de 50 000 m³ de capacité d'où part la galerie alimentant la centrale d'Innertkirchen. Cette galerie

creusée tout entière dans le roc à 7 725 m de longueur et une section de 6,05 m². Elle pourra débiter 18 m³ : s. Elle aboutit à une chambre d'eau située au-dessus de Bottigen et d'où partiront deux galeries sous pression et six conduites forcées très courtes aboutissant à la salle des machines. Ces galeries et ces conduites sont tout à fait analogues aux précédentes.

L'ensemble des installations, y compris les postes de transformation à 150 000 v. mais non compris les intérêts intercalaires, est estimé à 125 millions de francs. La durée minimum des travaux sera de huit années. En première étape on n'installera que 60 000 ch à Guttannen, ce qui permettra de fournir dès la cinquième année 43 millions de kilowatts-heure. En comptant les frais d'intérêt, d'amortissement et d'entretien à 9 pour 100 des capitaux engagés, le kilowatt-heure reviendra à 4 centimes. Deux lignes à trois fils d'aluminium de 197,6 mm² de section, à 150 000 v, partiront, d'une part, vers la centrale de Muhleberg, d'autre part, vers la ligne à 150 000 v Pieterlen-Olten suivant le schéma indiqué par la figure 8 qui montre l'état actuel des réseaux de distribution dans cette région. L'ensemble des barrages et des galeries sera établi dans le granit et l'on ne prévoit aucune difficulté au point de vue géologique.

J. C.

Procédé graphique pour le calcul de l'entrefer le plus favorable dans les bobines de réactance à fer saturé (1).

Dans certains cas où l'on emploie des bobines de self induction, par exemple, pour supprimer la légère ondulation du courant continu donné par les redresseurs à vapeur de mercure, le fer du circuit magnétique est presque saturé par la partie constante du courant. L'efficacité d'une telle bobine dépend de la variation de flux causée par la variation de courant et de la force électromotrice qu'elle engendre. Si une bobine de self-induction est alimentée par un courant alternatif, le flux passe d'une valeur positive à une valeur négative, tandis que dans le cas dont nous nous occupons, le flux ne s'annule jamais, mais oscille entre deux valeurs du même signe. En général, la variation du courant est connue et on veut atteindre par elle la plus grande variation de flux possible (fig. 1).

On voit vite qu'une bobine de self-induction à circuit magnétique fermé ne convient pas plus qu'une bobine droite.

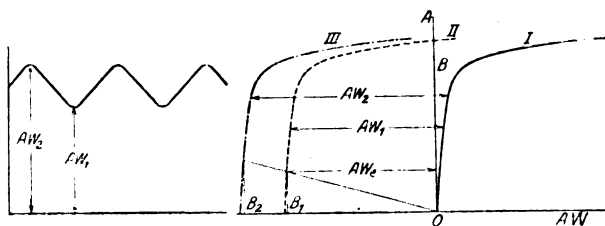


Fig. 1 et 2.

Pour la première, le flux obtenu est bien considérable, mais dès qu'on arrive à la saturation, les variations en sont faibles. Pour la seconde, les amplitudes des variations sont

bien respectées, mais le flux reste faible, à cause de la réluctance trop grande du circuit magnétique. Pour déterminer l'entrefer le plus favorable, nous allons opérer de la manière suivante. Donnons-nous : les dimensions du fer utilisé pour le circuit magnétique ; le nombre de tours de l'enroulement ; l'intensité et la forme du courant, pour connaître les ampères-tours maxima AW_2 et minima AW_1 ; la courbe de magnétisme du fer, pour calculer les inductions B correspondant aux ampères-tours AW (ligne droite donnée à droite de la figure 3 en trait plein).

Nous supposons qu'il n'y a ni fuites, ni dispersion, c'est-à-dire que l'induction dans l'entrefer est la même que celle du fer. Retraçons de nouveau la courbe I de magnétisme, mais décalée de AW_1 , puis de AW_2 sur la précédente (courbes II et III). Les distances horizontales des points des courbes II et III, à la droite OA_2 , représentent les ampères-tours dans l'air correspondant à chaque valeur B de l'induction. AW_1 et AW_2 sont en effet les ampères-tours totaux ; la distance de l'ordonnée OA à la courbe I représente les ampères-tours du circuit magnétique du fer ; la différence entre ces deux grandeurs figure donc les ampères-tours nécessaires à l'entrefer. L'entrefer δ se calcule alors par la relation : $B\delta = \frac{4\pi AW}{10}$ ou $\delta = \frac{4\pi AW}{10B}$. Si nous devions

prévoir une dispersion des lignes de force dans l'entrefer, il faudrait faire intervenir au lieu de B , βB , β étant un coefficient compris entre 0 et 1. Le principe de la construction reste le même. Pour un même entrefer δ et mêmes ampères-tours AW_1 , puis AW_2 , les inductions correspondantes sont données par les points d'intersection de droites passant par O avec les deux courbes décalées. La variation de flux est donc proportionnelle à la différence des ordonnées des points d'intersection d'une même droite passant par O , avec les deux courbes. Il faut donc mener plusieurs droites et porter sur elles les différences d'ordonnées à partir de O , à une échelle convenable. Les points ainsi obtenus donnent une courbe présentant un maximum très net qui permet de calculer l'entrefer optimum. Dans la figure 3, les variations

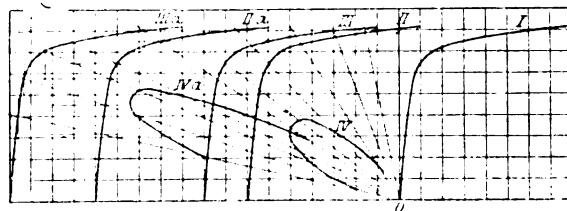


Fig. 3.

de flux sont portées sur les droites à une échelle cinq fois plus grande que les ampères-tours : on obtient ainsi la courbe IV. Les courbes II a et III a sont dessinées pour un nombre d'ampères-tours deux fois plus grand. La courbe I reste la même, car pour la partie fer du circuit magnétique les mêmes ampères-tours sont nécessaires pour obtenir une induction donnée. Mais il faut alors, pour comparer les résultats avec ceux de la construction précédente, porter les variations de flux avec une échelle dix fois plus grande, car l'efficacité de la bobine est proportionnelle au produit de la variation du flux par le nombre de spires. La courbe IV a montre qu'il faudrait dans ce cas choisir un plus grand entrefer.

[B. H.]

(1) C. FLEISCHMANN, E. T. Z., 6 octobre 1921, t. XLII, p. 1139-1140, 900 mots, 4 fig.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société anonyme des Forges et Aciéries du Nord et de l'Est.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 27 OCTOBRE 1921.

Le capital social, qui, au 30 juin 1920, était de 22 972 000 fr. a été porté, à la suite de l'augmentation de capital réalisée en juillet 1920, à 46 000 000 fr. par l'émission, au prix de 550 fr. de 92 112 actions. Il a été ensuite porté au chiffre actuel de 77 425 000 fr à la suite de l'émission effectuée en juin dernier de 125 700 actions au prix de 575 fr.

Le produit de la première émission était destiné à mettre la société en mesure de continuer les travaux de reconstitution de ses usines du Nord, sans attendre les paiements que doivent lui faire les Services de l'Etat, pour les dommages de guerre, et qui sont effectués souvent avec de grands retards.

Le produit de la seconde émission a servi à réaliser l'acquisition d'actions usines métallurgiques de la Basse-Loire et de nouvelles actions Forges et Aciéries de Nord et Lorraine dont l'acquisition lui a été offerte.

Grâce aux acquisitions de titres ainsi effectuées, la société a pu compléter le groupement qu'elle avait envisagé dès le début et déjà réalisé en ce qui concerne les sociétés de Pont-à-Vendin et de l'Espérance-Louvroil.

Le groupement comprend maintenant les trois usines du Nord, qui seront reconstruites rationnellement : les usines de Trith-Saint-Léger, Espérance à Louvroil et Pont-à-Vendin.

Dans l'Ouest : les usines métallurgiques de la Basse-Loire avec leurs domaines miniers et leurs participations.

Dans l'Est : les hauts fourneaux de Jarville et la mine de Piennes.

Les Forges et Aciéries de Nord et Lorraine comprenant : les usines et mines d'Uckange, 60 pour 100 des usines de Neunkirchen, dans la Sarre et 40 pour 100 des Usines de Hombourg.

Le Conseil rend compte de la situation industrielle de la société et des diverses entreprises dans lesquelles elle est intéressée.

Hauts Fourneaux de Jarville et Mine de Charignay. — La division de Nancy a fonctionné avec deux hauts fourneaux pendant une partie seulement de l'exercice. Le groupe II a dû être arrêté le 1^{er} décembre 1920 et le groupe I le 1^{er} janvier 1921 par le bouchage du haut fourneau n° 2. La crise métallurgique n'a pas encore permis de remettre l'usine en marche.

Le personnel conservé a été occupé à la réfection des deux groupes.

Les bureaux ont été réparés et on s'est occupé de l'aménagement de logements d'ouvriers. Les acquisitions nouvelles et celles faites antérieurement par la société permettent de loger dès maintenant 62 ménages d'employés et ouvriers.

L'exploitation de la mine de Charignay a suivi la marche des hauts fourneaux de Jarville. Le personnel a été considérablement réduit. Il est utilisé aux réfections de la mine.

On a établi une poudrière alvéolaire réglementaire, commencé l'électrification du treuil du Puits de la Faille, ainsi que celle de l'élévateur d'eau. On installe également un nouvel atelier d'entretien mû électriquement. Il a été procédé, à Ludres, à l'acquisition de 10 maisons dans lesquelles peuvent être logés une cinquantaine de ménages ouvriers.

Mine de Piennes. — Les travaux d'épuisement ont commencé le 21 juillet 1920. La mine est devenue abordable à la fin de décembre, mais la pénétration dans les travaux souterrains n'a pu se faire que peu à peu par suite du mauvais air. Les réparations ont d'abord porté sur toutes les installations voisines du puits. Le ventilateur a pu être rapidement mis en service. Les chantiers d'abatage du minerai, qui existaient au mois d'août 1914, ont tous été envahis par des éboulements plus ou moins importants qui ont nécessité des abandons de minerai et des consolidations par boisage. Les galeries ont été renforcées partout où cela a été jugé nécessaire par des muraillements en maçonnerie. L'outillage qui est resté noyé pendant six ans a beaucoup souffert. Les installations de pompes souterraines, les voies ferrées, les lignes de transport de force, les conduites d'air comprimé ont dû être refaites. En même temps, la société a amélioré les conditions d'emploi de l'électricité et installé au fond des transformateurs et des groupes convertisseurs avec tableaux de manœuvre permettant de marcher soit avec le courant du secteur de la Société Energie Eclairage, soit avec celui qu'elle produira elle-même, soit avec celui des mines voisines de Landres et de La Mourière, avec lesquelles elle a une liaison qui lui permettra d'échanger du courant. Au jour, les huit chaudières de la chaufferie sont rétablies; les deux compresseurs d'air également, les ateliers et les magasins sont rééquipés et réapprovisionnés. Les machines d'extraction sont en parfait état.

Les cités ouvrières sont réparées. Bien qu'il reste encore beaucoup de dommages à réparer, on peut dire que la mine sera incessamment prête à produire du minerai.

Division de Valenciennes. — Au 30 juin 1921, l'état d'avancement de la reconstruction de cette division était le suivant :

A l'ancienne usine, l'aciérie Martin a été mise en marche en septembre 1920, et l'atelier de bandages et d'essieux en janvier 1921. Les ateliers de fonderie, chaudronnerie et mécanique reconstitués travaillent pour la reconstitution de l'usine.

A la nouvelle usine : Hauts Fourneaux. — La réparation des parties métalliques des trois hauts fourneaux est à peu près terminée.

La partie métallique de 12 cowpers est achevée. Il reste à maçonner 4 appareils.

On achève le montage des deux derniers monte-charges

et on termine la remise en état des diverses conduites, des voies sous accumulateurs et des trainages mécaniques.

Cette partie de la division sera terminée avant la fin de l'année courante.

Station centrale. — Le montage des machines (soufflantes et moteurs) se poursuit activement. On a commencé l'agrandissement de la centrale prévue dans le programme de reconstitution.

On a dû reconstruire entièrement le château d'eau et la batterie de chaudières.

La société compte que pour fin décembre toutes les machines récupérées, c'est-à-dire :

4 soufflantes de hauts fourneaux, dont 3 à gaz,

4 moteurs à gaz de 3000 et 1200 ch,

2 machines à vapeur de 500 ch seront en ordre de marche ainsi que six chaudières.

Acierie Thomas. — Cette installation, récupérée à Steinfort, est aujourd'hui complètement remise en état et remontée.

On termine les installations de la dolomie et des moulins à scories; l'installation du mélangeur est très avancée et sera terminée pendant l'hiver.

Laminaires. — Le blooming et le train réversible récupérés en Allemagne ont été vérifiés et remis en état; ils sont en cours de montage.

On a dû procéder à la réfection complète des fondations qui avaient été détruites à la dynamite; on a remplacé les trains de l'ancienne usine mitraillée par des trains modernes à grande production.

Les bâtiments de cette nouvelle installation sont terminés. On procède actuellement à l'exécution des fondations de l'outillage.

On a également agrandi et modernisé les ateliers de finissage et de parachèvement.

Toutes les maisons d'habitation appartenant à la société ont été réparées définitivement.

On étudie la construction d'un nouveau groupe de maisons.

L'insuffisance des versements faits par l'Etat en vertu de la loi des réparations de dommages de guerre, a eu pour conséquence, vers la fin de l'exercice, un léger ralentissement des travaux, la société pense remettre cette division en marche progressivement dans le courant de l'année prochaine.

Division de Louvroil. — Usine d'Aulnoye. — Cette ancienne usine, complètement détruite par les Allemands, n'a donné lieu qu'à des travaux de déblaiement qui sont aujourd'hui terminés.

Nouvelle usine à Louvroil. — Aux hauts fourneaux, on procède au montage de l'épuration et au briquetage des hauts fourneaux. Les cowpers sont terminés ainsi que les halles de coulée, les appareils de chargement, les halles à coke avec leurs ponts et outillage.

Cette partie de la division sera achevée à la fin de cette année.

Station centrale. — La batterie de chaudières est en ordre de marche ainsi que tout le matériel de la centrale à vapeur comprenant deux soufflantes de fourneaux, une soufflante d'acierie et trois turbo-alternateurs avec commutatrices et transformateurs.

Acierie Thomas. — Cette installation, dont l'outillage a été complètement détruit par les Allemands, a été reconstruite.

Le montage de l'acierie proprement dit est terminé. On procède à l'installation du mélangeur dont on a exécuté les fondations et le montage du bâtiment.

Laminier réversible. — Le montage du laminier et de la machine réversible est terminé ainsi que la reconstruction des Pitts.

On procède à la réinstallation de l'arrière du train détruit par les Allemands.

Installations accessoires. — Les installations accessoires, telles que laboratoire, service hydraulique, atelier d'entretien, sont en voie de rétablissement.

Ancienne usine à Louvroil. — La construction de cette usine, complètement détruite par les Allemands, a été reprise sur des bases nouvelles pour l'installation de laminiers à petits fers, modernes et à grande production.

Les travaux entrepris au début de l'exercice écoulé ont été poussés avec la plus grande activité. Tous les bâtiments sont montés à l'exception des travées transversales destinées à former les magasins. Le château d'eau est en cours d'exécution.

Les fondations du train à feuillards de 280 sont à peu près terminées; on travaille aux fondations du train double de 280 et du train de 350.

On va commencer, incessamment, la construction des fours à réchauffer et le montage des gazogènes. On étudie la construction d'un groupe de maisons ouvrières pour parer à l'insuffisance des logements dans la région.

Pendant l'exercice, la société a pris un important intérêt dans la Société des Usines métallurgiques de la Basse-Loire et augmenté celui qu'elle avait déjà dans la Société des Forges et Aciéries de Nord et Lorraine.

Société des Usines métallurgiques de la Basse-Loire. — Les résultats du premier semestre ont été satisfaisants, mais la répercussion de la crise générale s'est fait sentir pendant le second semestre. L'assemblée générale a décidé la distribution d'un dividende de 8 fr par action.

Forges et Aciéries de Nord et Lorraine. — Les bénéfices des Usines de Neunkirchen dans lesquelles la Société des Forges et Aciéries de Nord et Lorraine possède une participation de 60 pour 100, ont permis, après des amortissements importants, de distribuer un dividende de 10 pour 100.

La Société de Hombourg, dans laquelle la Société de Nord et Lorraine possède une participation de 40 pour 100, a, en raison de la mise au point de l'usine des tubes sans soudures, laissé un déficit.

L'assemblée générale des Forges et Aciéries de Nord et Lorraine a décidé la distribution d'un dividende de 18,75 fr par action de 250 fr, libérée d'un quart.

Société métallurgique de Pont-à-Vendin. — Les hauts fourneaux, cowpers, tuyauteries et station centrale qui avaient été soumis au bombardement pendant toute la durée des hostilités et détruits par les Allemands, à la dynamite, avant leur départ, ont donné lieu à d'importants travaux de déblaiement qui sont actuellement terminés.

Les charpentes de laminiers ont été, après réparation, employées en grande partie à Valenciennes et à Louvroil, ce qui a accéléré d'une façon sensible les travaux de reconstruction de ces divisions.

L'exercice, après des amortissements se montant à 8 300 000 fr, a laissé une perte de 40 262,15 fr.

Charbonnages de Limbourg-Meuse. — L'achèvement du puits d'extraction n° 1 s'est effectué dans les meilleures conditions avec une profondeur de 730 m et un diamètre de 6 m. Les travaux de pénétration dans le gisement houiller se poursuivent à l'heure actuelle. Le puits n° 2 a atteint la profondeur de 500 m. Il est arrivé dans le terrain houiller.

Charbonnages de Beeringen. — Le puits n° 1 dont la profondeur avait atteint 646 m au mois de mars 1920 a eu, à cette époque, un accident grave qui a entraîné son inondation. Il a été décidé de remplacer le revêtement en maçonnerie qui existait sur 80 m par un cuvelage en fonte. La cimentation de la venue d'eau a été poursuivie avec succès, et le cuvelage est en voie d'installation. Ce puits peut être considéré comme à peu près achevé et l'aménagement des services d'extraction commencé au puits 2, va permettre l'extraction par les deux puits. Le charbonnage commencera donc à produire du charbon dès 1922.

Charbonnages de Gouy-Servins. — La réparation des deux puits qui avaient été très sérieusement endommagés pendant la guerre, poursuit son cours dans des conditions satisfaisantes. La profondeur réparée était, au 30 juin 1921, de 390 m dans le puits 1 et de 440 m dans le puits 1 bis. Pendant le cours de l'exercice, la Société de Gouy-Servins a fusionné avec celle des Mines de Fresnicourt, propriétaire d'une concession contiguë, non encore exploitée, et dans laquelle la société possédait une participation. Le capital de la Société de Gouy-Servins a été augmenté en conséquence de 8 000 000 fr, pour passer de 10 000 000 fr à 18 000 000 fr.

Société nouvelle des Charbonnages du Levant de Mons. — Les travaux de ce charbonnage ont été poussés avec la plus grande activité.

Au siège d'extraction d'Estinnes-au-Val, une voie de raccordement au chemin de fer d'une longueur de 600 m, des voies d'évitement et une route d'accès carrossable ont été construites.

Une sous-station de 500 kw alimentant un compresseur de 170 ch et tous les services accessoires, des ateliers munis de forges et de machines-outils, une installation complète de cimentation par le procédé François, des bureaux, des magasins provisoires ont été édifiés.

Au puits n° 1, la cimentation est terminée et le fonçage aussitôt commencé a atteint la profondeur de 53 m. Au puits n° 2, la cimentation sera terminée sous peu.

L'étude des installations définitives est fort avancée et sous peu il sera procédé à la commande des chaudières à vapeur, de la machine d'extraction, des ventilateurs, du premier chevalement, des bâtiments de recette et des bains-douches. Trente maisons ouvrières ont été construites et cinquante autres seront prochainement mises en construction.

Groupeement de la Grosse Métallurgie. — La société a souscrit pour une part importante à la constitution du Groupeement de la Grosse Métallurgie, constitué en vue de réaliser un emprunt corporatif gagé sur les titres d'annuités, conformément aux dispositions de la loi du 31 juillet 1920 et pour lequel les actionnaires ont donné les autorisations nécessaires dans l'assemblée générale du 29 octobre 1920.

Les produits de l'exploitation, les revenus du portefeuille et des participations et divers forment un total de 11 503 834,25 fr, dont il y a lieu de déduire 4 921 669,35 fr pour frais généraux, intérêts, escomptes et commissions, abonnement au timbre, subventions et allocations diverses et allocation au Conseil d'Administration.

Le bénéfice net ressort ainsi à 6 582 164,90 fr, auquel il y a lieu d'ajouter le solde reporté de l'exercice précédent, 2 126 551,95 fr, soit au total 8 708 716,85 fr.

Sur ce solde, il est distribué un dividende de 20 fr par action. Ce dividende avec les prélèvements statutaires absorbera 6 573 528,68 fr. Il est versé 780 000 fr à la provi-

sion d'amortissement des obligations. Il reste 1 355 188,77 fr qui sont reportés à nouveau.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

| Actif. | fr |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Immobilisations. (Dommages de guerre.) | |
| Division de Valenciennes..... | 13 914 138,40 |
| Nouvelle Aciérie de Valenciennes..... | 39 904 781,47 |
| Division de Pienne..... | 13 549 758,95 |
| — de Louvroil..... | 23 764 336,95 |
| Pont-à-Vendin (cession dommages de guerre)..... | 19 216 202,05 |
| Approvisionnements et produits fabriqués..... | 12 130 779,17 |
| Reconstitution industrielle..... | 103 698 158,73 |
| Immobilisations. — Mines, immeubles, machines, matériel, outils et meubles. | |
| Division de Nancy : | |
| Dépenses antérieures à l'exercice..... | 10 277 689,67 |
| Dépenses de l'exercice..... | 513 248,63 |
| Division de Valenciennes : | |
| Dépenses antérieures à l'exercice..... | 96 905,50 |
| Dépenses de l'exercice..... | 628 813,36 |
| Nouvelle Aciérie de Valenciennes : | |
| Dépenses antérieures à l'exercice..... | 9 213,65 |
| Division de Louvroil : | |
| Dépenses antérieures à l'exercice..... | 110 050,43 |
| Dépenses de l'exercice..... | 560 442,70 |
| Division de Pienne : | |
| Dépenses de l'exercice..... | 130 555,50 |
| Titres de rente pour pensions diverses..... | 45 047,70 |
| Cautionnements..... | 38 545,79 |
| Portefeuille et participations : | |
| Versements effectués..... | 73 742 468,25 |
| Versements restant à effectuer..... | 65 784 160 » |
| Caisses et banques..... | 29 456 987,84 |
| Effets à recevoir et bons à échéance..... | 10 912 612,55 |
| Clients..... | 5 567 667,97 |
| Débiteurs divers..... | 23 558 656,12 |
| Approvisionnements et produits fabriqués..... | 6 392 672,66 |
| | <u>453 003 904,04</u> |

| Passif. | fr |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Capital social..... | 77 425 000 » |
| Réserve légale..... | 7 742 500 » |
| Réserve spéciale devant être affectée à des dépenses de premier établissement..... | 3 575 617,35 |
| Obligations 4 pour 100 amorties..... | 4 190 000 » |
| Fonds de prévoyance..... | 8 445 185,15 |
| Provisions industrielles diverses..... | 16 838 601,37 |
| Provision pour fournitures avec garantie..... | 227 288,39 |
| Provision pour réfection de hauts fourneaux..... | 602 526,11 |
| Fonds d'assurance contre incendie..... | 253 563,35 |
| Fonds d'assurance contre les accidents..... | 630 085,86 |
| Fonds de secours de la société au personnel..... | 454 245 » |
| Fonds servant à améliorer les conditions d'existence du personnel..... | 274 272,28 |
| Amortissement : | |
| Division de Valenciennes..... | 14 011 042,90 |
| Nouvelle Aciérie de Valenciennes..... | 5 123 457,85 |
| Division de Pienne..... | 6 516 736,35 |
| Division de Louvroil..... | 14 261 316,02 |
| Ministère de la Reconstitution industrielle. | |
| Sommes reçues et crédits obtenus à valoir sur reconstruction..... | 79 366 217,65 |
| Division de Nancy..... | 10 277 688,67 |
| Participations (actions minières et métallurgiques..... | 7 406 814,85 |
| Obligations 4 pour 100..... | 15 030 000 » |
| Obligations 4 1/2 pour 100..... | 5 800 000 » |
| Obligations 6 pour 100..... | 30 000 000 » |
| A reporter..... | <u>308 382 290,05</u> |

| | |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <i>Report</i> | 368 381 290,05 |
| Effets à payer..... | 5 373 867,20 |
| Banques..... | 352 550,16 |
| Fournisseurs..... | 19 410 451,94 |
| Créditeurs divers..... | 41 879 109,78 |
| Main-d'œuvre..... | 362 661,25 |
| Retraites ouvrières..... | 59 690,02 |
| Coupons d'actions échus, non encore présentés.. | 231 761,16 |
| Intérêts d'obligations et intérêts moratoires sur coupons..... | 249 582,30 |
| Obligations sorties non remboursées..... | 860 529,13 |
| Intérêts des obligations courus et non échus..... | 1 298 475 » |
| Versements restant à appeler sur titres non libérés..... | 65 784 160 » |
| Profits : | |
| Bénéfices nets de l'exercice 1920-1921..... | 6 582 161,90 |
| Reportés de l'exercice antérieur..... | 2 126 551,95 |
| | <u>453 003 904,01</u> |

Société générale de Force et Lumière.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 2 DÉCEMBRE 1921.

Durant l'exercice la société a achevé l'établissement de la ligne de jonction qui réunit les réseaux de transmission d'énergie du nord de l'Isère aux lignes desservant la Vallée du Giers. Elle a dû renforcer certains postes de transformateurs.

La Société a pris des participations dans la Société hydro-électrique du Giers et a pris part à la constitution de la Société Isère-Vercors demandeur en concession d'une chute importante dans les environs de Romans.

Les recettes d'exploitation ont atteint 17 638 561,96 fr en augmentation de 6 084 646,96 fr et les dépenses, 10 457 347,38 fr accusent un surplus de 4 802 281,92 fr.

L'examen de ces chiffres montre à quel point était nécessaire pour l'industrie l'établissement d'un index économique créant une relation entre le prix de vente de l'énergie et le coût de la vie, tel que l'a proposé M. le ministre des Travaux publics.

La société a gravement souffert, depuis l'hiver dernier, d'une sécheresse qui s'est prolongée sans précédent, au cours de tout cet été et de cet automne, mais il n'en reste pas moins certain que les dépenses d'entretien, comme celles de main-d'œuvre, laissent loin derrière elles toutes les prévisions sur la cherté de la vie.

La société a dû et devra encore demander à sa clientèle de suivre avec le prix de l'énergie la progression à laquelle ses dépenses l'entraînent.

Paréillement, le coût élevé de la production de l'énergie thermique que la société a dû produire a fait durement sentir ses effets sur les résultats de l'exercice. Pour y remédier, pour une part tout au moins, elle s'est procuré un supplément d'énergie de sa station centrale de Bozel, afin de contribuer à combler le manque de puissance d'hiver dont elle souffre; cette installation comportera un réservoir hydraulique.

Le solde créditeur du compte de profits et pertes s'élève à 5 873 005,70 fr qui se répartissent :

Amortissement sur frais d'émission, 400 000 fr; obligations remboursables pendant l'exercice, 459 500 fr; amortissement sur prime de remboursement des obligations,

13 880 fr; réserve de prévoyance, première dotation, 1 000 000 fr.

Il reste 3 999 685,70 fr sur lesquels il est prélevé 5 pour 100 pour la réserve légale, 5 pour 100 aux actions, 10 pour 100 au Conseil, une deuxième dotation à la réserve de prévoyance de 98 302,70 fr.

Il reste 1 071 428,57 fr dont 70 pour 100 aux actions, 1,5 pour 100 superdividende et 30 pour 100 aux parts.

Le dividende de 6,5 pour 100, soit 16,25 fr aux actions et de 107 142 fr aux parts de fondateurs est payable sous déduction des impôts depuis le 27 décembre dernier.

La réserve de prévoyance au 1^{er} juillet 1921 était de 307 492,95 fr; il y est ajouté 1 098 302,70 fr, ce qui porte ainsi son montant à 1 405 795,65 fr.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

| <i>Actif.</i> | fr |
|-----------------------------------------------|-----------------------|
| Installations diverses..... | 68 967 743,93 |
| Immeubles et chutes..... | 1 033 008,92 |
| Magasin, outillage, mobilier..... | 5 397 152,11 |
| Frais de constitution..... | 1 » |
| Frais généraux de premier établissement..... | 1 » |
| Frais d'émission..... | 1 256 080,75 |
| Titres divers..... | 13 495 114,80 |
| Bons de la Défense et Rente française..... | 3 646 316,75 |
| Banques et caisses..... | 5 257 948,84 |
| Débiteurs divers et comptes courants..... | 20 390 833,41 |
| Prime de remboursement sur les obligations... | 1 000 810 » |
| | <u>120 415 001,51</u> |
| <i>Passif.</i> | fr |
| Capital-actions..... | 50 000 000 » |
| Capital-obligations..... | 36 205 000 » |
| Bons décennaux 6 pour 100..... | 10 000 000 » |
| Effets à payer..... | 4 890 500 » |
| Réserve légale..... | 580 303,71 |
| Compte général d'amortissement..... | 4 545 740 » |
| Fonds de prévoyance..... | 307 492,95 |
| Annuités..... | 1 812 552,25 |
| Créditeurs divers..... | 5 073 051,84 |
| Coupons à payer..... | 1 146 795,06 |
| Bénéfices de l'exercice 1920-1921..... | 5 873 005,70 |
| | <u>120 415 001,51</u> |

ASSEMBLÉE EXTRAORDINAIRE DU 2 DÉCEMBRE 1921.

Les actionnaires ont été convoqués le même jour en assemblée générale extraordinaire pour donner au conseil les pouvoirs nécessaires pour émettre des bons ou des obligations jusqu'à concurrence de deux fois le montant émis du capital-actions.

A ce jour, après amortissement des obligations sorties au tirage au sort dans le dernier exercice, le montant des obligations et bons émis s'élève à 45 746 000 fr pour un montant de capital-actions émis de 50 millions de francs.

Le Conseil fera usage des pouvoirs qui lui seront conférés en s'inspirant des circonstances, c'est-à-dire des besoins de la société correspondant à ses nécessités industrielles et aux conditions qui présideront à la situation du marché financier.

SECTION DE LÉGISLATION

L'enregistrement des concessions municipales de distribution d'énergie

Dans le présent article, l'auteur continue la série des études ⁽¹⁾ qu'il avait annoncées dans un précédent numéro; il traite aujourd'hui de l'enregistrement des concessions en limitant volontairement son examen aux traités passés avec les communes.

Enregistrement obligatoire : délai, difficultés.

— L'article trente-sixième et dernier du cahier des charges ⁽²⁾ se présente en ces termes : « Les frais de timbre et d'enregistrement du présent cahier des charges et des conventions annexées seront supportés par le concessionnaire ». C'est une rubrique consacrée : tout traité passé avec une collectivité, quand il est générateur de droits fiscaux, les laisse toujours à la charge du particulier contractant.

Ce qu'il y a de certain, c'est que les traités de concession de distribution doivent être enregistrés dans les vingt jours de leur signature; l'article 78 de la loi du 15 mai 1818 le dit expressément : « demeurent assujettis ⁽³⁾ au timbre et à l'enregistrement sur la minute, dans le délai de vingt jours, conformément aux lois existantes : 1° les actes des autorités administratives et des établissements publics portant transmission de propriété d'usufruit et de jouissance : les adjudications, marchés de toute nature aux enchères, au rabais, ou sur soumission; 2° les cautionnements relatifs à ces actes ». D'un arrêt de la Cour de Cassation, toutes

chambres réunies, en date du 12 juillet 1875 (affaire Société Petit, *Dalloz*, 1875, 1, 341), il résulte que les mots « autorités administratives » comprennent les communes, parce qu'ils sont extrêmement larges et que, d'autre part, le mot « marché » comporte tous les contrats passés par elles quels qu'en soient l'objet et la forme. (Nous verrons plus loin qu'il ne faut pas confondre le mot « marché » qui est soit une vente de choses, soit un louage d'industrie, avec les emprunts passés par les communes, opérations purement financières dispensées d'enregistrement par l'article 80 de la même loi.)

Mais, pour qu'un acte municipal soit enregistré, il faut qu'il soit parfait, c'est-à-dire revêtu de l'approbation préfectorale. Le délai ne court que du jour où le maire remet à la partie qui doit effectuer la formalité de l'enregistrement, l'arrêté du préfet, conformément à la circulaire du ministre de l'Intérieur du 6 septembre 1853, remise qui sera constatée par une déclaration du maire datée et signée en marge de l'arrêté (décision du ministre des Finances du 22 janvier 1855. *Dalloz*, 1855, 3, 56, rapportée dans le Code de l'Enregistrement sous l'article 20 de la loi du 22 frimaire, an 7).

Donc, il faut enregistrer : mais à quel tarif ?

Les explications sur ce point ne sont pas précisément faciles, parce qu'elles supposent nécessairement connues certaines règles fiscales dont nous devons donner un très rapide aperçu.

Principes des dispositions dépendantes ou indépendantes. — Un traité aussi complexe que celui d'une distribution d'énergie contient des clauses multiples : chacune est susceptible d'attirer une remarque spéciale de l'enregistrement. Si nous suivons, article par article, le cahier, nous voyons qu'à l'article 5, la commune qui peut avoir promis, par acte séparé, une subvention précise les époques de versement des acomptes; dans le même article, il est dit que, si elle a un réseau ou des moyens de production préexistants, elle les donne à bail avec un loyer stipulé; à l'article 7, elle peut encore promettre, moyennant redevance, le droit d'occuper le domaine com-

(1) Voir le précédent article dans le numéro du 6 janvier 1921, t. XI, p. 37-40.

(2) Le cahier des charges a été reproduit dans cette Revue. Pour l'article 36 voir numéro du 27 août 1921, t. X, p. 276.

(3) Il ne faut pas s'étonner des termes employés par la loi de 1818 et notamment des mots « demeurent assujettis »; cette loi, en effet, avait eu pour but de diminuer certains droits, notamment ceux qui devaient être acquittés à l'occasion des marchés dont le montant était à la charge du Trésor public (adjudications et marchés pour constructions et réparations, entretien, approvisionnements et fournitures). Par opposition, le législateur pour les autres droits qu'il maintenait, emploie le mot « demeurent » terme qui est vide de sens quand on ignore cette particularité; ajoutons que même pour les droits qui ont été diminués, la législation de 1818 n'a presque plus de portée pratique. L'article 73 les fixe à 1 fr (droit fixe une fois donné); la loi du 28 février 1872, article premier, n° 9 et la loi du 28 avril 1893 avaient modifié ce tarif et notamment cette dernière loi avait fixé le taux à 0,20 pour 100; ensuite, le taux a été reporté à 1 pour 100 sans décime par l'article 15 de la loi du 29 juin 1918; entre les traités dont le prix est à la charge de l'État et les autres traités, par exemple ceux passés par les communes, il n'existe au point de vue de l'enregistrement qu'une différence de 0,25 pour 100 (1 pour 100 pour les premiers, sans décime et 1,25 pour 100 pour les seconds).

munal, pour la construction d'une usine qu'elle impose en plus de l'établissement du réseau; *l'article 12* (dans un passage qui reste en blanc ou est rempli selon le cas), vise les fournitures de courant que la commune s'engage à prendre pour un prix donné; une note, imprimée au bas de *l'article 22*, permet aux contractants de préciser le sort du réseau en fin de concession, soit par la stipulation d'une reprise ferme et gratuite par la commune, soit en laissant planer la possibilité pour la commune de réclamer l'enlèvement de toutes les canalisations aux frais du concessionnaire; *l'article 27* fixe les redevances qui peuvent être nulles, d'ailleurs.

Sans se laisser noyer par ce flot de détails, il convient de ne pas perdre de vue le vrai but du contrat qui est l'installation, dans le territoire de la commune, de la distribution du courant électrique, pour procurer soit la lumière, soit la force motrice, soit les deux réunies; les différents articles destinés à la convention sont ils tous nécessaires à la réalisation du résultat final, en constituent-ils une partie obligatoire? *S'il en est ainsi, le tarif sera unique.*

Au contraire, certaines stipulations bien qu'inscrites au contrat, sont-elles, par nature, de simples accessoires, sans lesquels le contrat aurait été tout aussi valable? On les considérera comme constituant chacune une convention spéciale, donnant ouverture à l'application du tarif dont elle est justiciable.

C'est ce que l'on appelle en droit fiscal, et pour les actes de toute nature, la théorie des dispositions dépendantes et indépendantes ⁽¹⁾.

Dispositions dépendantes en matière de concession. — D'une façon générale, la jurisprudence de la Cour de Cassation tend à considérer les clauses de concessions de travaux publics, au point de vue fiscal, comme un ensemble homogène de dispositions dépen-

dantes les unes des autres; le résultat final que l'enregistreur doit surtout envisager dans les contrats de cette nature, c'est le bienfait de la distribution: sans doute, on doit prendre pour y arriver une série de moyens, mais ils sont tous essentiellement convergents: c'est donc le *tarif des travaux publics* que l'on appliquera au contrat, en principe.

Trois arrêts de la Cour de Cassation sont à retenir, deux relatifs à une distribution d'eau, le troisième à une distribution de courant électrique.

La Compagnie générale des Eaux avait fait avec la Ville d'Elbeuf un contrat par lequel elle s'engageait à établir tous les travaux de captage, d'adduction et de distribution, à donner à la Ville, moyennant un prix déterminé, l'eau que celle-ci lui demanderait et, enfin, à lui laisser gratuitement, à la fin de la durée stipulée, les ouvrages qu'elle aurait établis: en échange, la Ville garantissait au distributeur l'exclusivité de la distribution. La Cour de Cassation s'est absolument refusée à voir dans ce contrat deux stipulations, l'une qui serait un marché de fournitures pour l'eau prise pour la collectivité, et l'autre qui serait un marché de travaux pour les ouvrages restant à la Ville. C'est un unique marché de travaux publics dont le tarif 1,25 pour 100 est à appliquer sur le total des sommes représentant l'une la valeur des fournitures, l'autre la valeur des travaux à faire, estimés d'après la déclaration des parties (arrêt du 5 février 1889, affaire Ville d'Elbeuf. *Dalloz*, 1889, 1, 198). Même solution donnée presque en termes identiques par l'arrêt du 20 mai 1890, Ville de Saint-Nazaire (*Dalloz*, 1890, 1, 349).

Quant à l'arrêt relatif à la distribution d'électricité (25 février 1908, Société méridionale de Transport de force, *Dalloz*, 1908, 1, 519) l'affaire qui y a donné lieu se présentait dans les conditions suivantes: la Ville avait un réseau préexistant, transformateur, tableau, lignes; elle en abandonne la jouissance au concessionnaire; lui donne le droit de l'étendre (lui en faisant même l'obligation quand il y aurait une demande d'une certaine importance) et lui assure pour une durée déterminée le privilège exclusif de la distribution aux particuliers dans toute l'étendue du territoire communal. En retour, elle ne demande aucune redevance pécuniaire, mais il est stipulé que la société entretiendra, en bon état le réseau qui lui est confié et, en plus, fournira gratuitement le courant nécessaire à 120 lampes de 16 bougies chacune, lampes disséminées sur la voie publique et dans les établissements communaux.

La Société méridionale oublie de faire enregistrer dans le délai de vingt jours l'acte intervenu et est frappée pour retard du double droit; bien que le tarif ne fût que de 1,25 pour 100 et pour se tirer à meilleur compte de la difficulté, elle prétextait qu'elle avait fait soit pour le réseau préexistant, soit pour l'occupation de la voirie, un bail immobilier soumis à cette époque au tarif de 0,25 pour 100. Le tribunal de Béziers, analysant la convention déclara que, d'une part, elle donnait le droit au concessionnaire de faire un réseau nouveau dans le domaine public, de se créer des recettes

(1) Les dispositions sont dépendantes, lorsque les unes et les autres règlent la question que le contrat ne pouvait ne pas régler; elles sont indépendantes dans le cas contraire, c'est-à-dire quand (même reliées intimement entre elles par la commune intention des parties qui n'a pas à être consultée) elles pourraient être supprimées sans que l'acte en fût compromis (*Dalloz*, Rep. Pratique, V^e, Enregistrement n° 104; *Wahl*, Traité de droit fiscal, t. 1, n° 150). La Cour de Cassation dans un arrêt de principe du 5 mars 1907 (affaire Balanoy, D. 1908, 1, 211) a décidé que les dispositions d'un même acte sont considérées comme dépendantes et dérivant les unes des autres, lorsque prises abstractivement elles concourent à la formation d'un contrat principal et en constituent les éléments corrélatifs et nécessaires; c'est l'application de l'article 10 de la loi du 22 frimaire an 7 d'après lequel, dans le cas de transmission de biens, la quittance donnée ou l'obligation consentie par le même acte pour tout ou partie du prix entre les contractants ne peut être sujette qu'à un droit d'enregistrement. A cet article, le suivant (art. 11) fait opposition en décidant « mais lorsque dans un acte quelconque... il y a plusieurs dispositions indépendantes ou ne dérivant pas nécessairement les unes des autres, il est dû, pour chacune d'elles et suivant son espèce, un droit particulier. La quotité en est déterminée par l'article de la présente loi dans lequel la disposition se trouve classée ou auquel elle se rapporte. »

par cette extension, que, d'autre part, la Ville assurait le bénéfice de l'éclairage à ses habitants, qu'il y avait, par conséquent, un contrat d'entreprise susceptible de donner des gains, comprenant des aléas, en un mot un travail public envisagé de part et d'autre, faisant disparaître et absorbant le cadre étroit d'une location immobilière limitée au réseau préexistant et aux occupations futures de la voirie.

Exemple de dispositions indépendantes en matière de concession. — Au contraire, si, parmi les dispositions que nous avons indiquées, quelques-unes paraissaient avoir une importance considérable et se détacher, comme en vedette, en marge du contrat, l'enregistreur n'en fera pas la lecture sans les cueillir une à une et leur appliquer le tarif afférent à leur nature. L'exemple classique et le plus précis est celui de la Compagnie du Gaz de Lyon (arrêt du 17 mai 1905. *Dalloz*, 1908, 1, 329) rendu dans les conditions suivantes :

La Ville de Lyon, désireuse de s'assurer, pour une longue durée, les fournitures de gaz destinées à son éclairage public avait fait, le 24 juillet 1897, un traité très complexe avec la Compagnie du Gaz; il était indiscuté et d'ailleurs indiscutable que le but du contrat était de procurer à la Ville le gaz nécessaire à ses services. Mais, dans le même contrat, de nombreuses stipulations avaient été introduites, savoir : la Ville devant devenir propriétaire en 1901 de canalisations importantes, en abandonnait la jouissance pour quarante ans à la Compagnie du Gaz, moyennant la location annuelle de 200 000 fr. ce qui était évidemment un fort denier; elle renonçait aussi, en faveur de la Compagnie, à tous ses droits indivis dans l'actif partageable de l'ancienne Compagnie du Gaz de la Guillotière; enfin, si elle consentait à payer un prix pour la fourniture du gaz consommé dans l'éclairage public, elle se réservait une redevance sur le prix que la compagnie toucherait des particuliers.

Le Tribunal civil de Lyon et, après lui, la Cour suprême se sont refusés à voir, dans toutes ces stipulations, de simples détails concourant au marché considéré comme but unique, mais bien plutôt des règlements de comptes antérieurs ou concomitants. Dans le bail des canalisations préexistantes fait au prix annuel de 200 000 fr, la juridiction saisie a vu un contrat indépendant, qu'elle a soumis au tarif des locations soit 0,25 pour 100; mais elle a eu soin de relever que, par disposition formelle du contrat, ladite location devait continuer à courir alors même que le traité de fourniture serait résilié, la Ville conservant toujours le droit de s'adresser à un autre entrepreneur. Cette idée de jouissance d'une canalisation déjà placée ne s'incorporait donc pas à l'idée d'une concession, puisqu'elle pouvait lui survivre. De même dans la cession de droits indivis, la Cour suprême a vu une stipulation complètement inutile à la concession de l'éclairage et un avantage spécial ne provenant pas normalement du traité. Enfin, dans l'engagement pris par la Ville de

payer la fourniture qui lui serait faite, elle a trouvé une clause formelle, mais non liquide, ne pouvant se compenser avec la clause (non liquide également) de recevoir la redevance, en raison de l'éclairage donné aux particuliers : donc, série de stipulations indépendantes; le droit de bail doit être perçu sur le montant de loyers cumulés, car le chiffre est formellement donné par le contrat lui-même; quant aux autres stipulations, leur valeur doit faire l'objet d'une estimation des parties (article 14, § 4 de la loi du 22 frimaire an 7), qui servira de base à l'application du tarif spécial à chacune d'elles.

Résumé de ces principes. Période antérieure au cahier des charges-type. — La pratique fiscale semble s'être toujours appliquée à définir le but véritable du contrat conformément aux principes ci-dessus, pour n'appliquer qu'un seul tarif, sauf dans des cas absolument exceptionnels.

1° Nous pouvons citer, à titre d'exemple, des contrats qui avaient pour effet de remettre au concessionnaire une entreprise toute créée, usine, canalisations, réseau, etc., avec l'obligation de desservir les particuliers et même la Ville et de payer en plus un prix en argent. Dans cette hypothèse, tous les travaux étant faits, il était bien certain que la municipalité avait en vue de transférer une installation dont l'exploitation directe lui était devenue indifférente; c'était une idée de transmission d'une jouissance immobilière pure et simple qui dominait; l'espèce était par conséquent diamétralement opposée à celle résolue par la Cour de Cassation (arrêt précité de la Société méridionale de Force du 25 février 1908, *Dalloz*, 1908, 1, 519) et la régie a pris le droit de 0,25 pour 100 sur le montant des loyers annuels cumulés et sur l'estimation des sommes représentant les fournitures faites à la commune (1).

2° Si un contrat de concession a pour but la distribution du courant pour l'usage possible des particuliers et de la Ville sans monopole, et sans que la Ville s'impose l'obligation de prendre une fourniture déterminée, il n'y a qu'un contrat d'occupation de la voirie et l'enregistrement doit être perçu simplement sur les redevances de voirie à la charge du concessionnaire; en effet, l'éclairage que peut prendre un particulier n'est pas un élément du contrat; car cette fourniture n'étant pas faite à la commune concédante, ne crée pas entre les signataires le lien juridique de producteur à consommateur qui serait nécessaire à la perception fiscale; d'autre part, la commune ne prenant rien actuellement, il n'y a pas fourniture immédiate, mais seulement promesse de fournir à des prix déterminés : l'enregistrement sera perçu au moment où interviendra la demande de la commune; mais le contrat au point de vue fiscal ne se distingue pas d'une simple autorisation de voirie (2).

(1) Voir le *Dictionnaire des droits d'enregistrement*, V, marché, n° 281.

(2) Le *Dictionnaire de l'Enregistrement*, V, Bail n°s 525 et 527, enseigne que les permissions de voirie doivent être

3° Si un contrat de concession a pour but de fournir le courant à la Ville pour une puissance déterminée, il y a lieu d'établir le droit d'enregistrement sur la fourniture promise ⁽¹⁾. C'est exactement l'affaire de la Société méridionale de Force solutionnée par la Cour suprême dans l'arrêt précité. Dans cette affaire, il y avait un privilège exclusif en ce qui concerne les particuliers, mais *il n'y avait pas retour gratuit à la commune des ouvrages à établir par le concessionnaire*; le tarif de 1,25 fr pour 100 a été appliqué seulement à la somme représentant : a) la valeur de l'éclairage des 125 lampes de 16 bougies dont la Société doit assurer le fonctionnement, sans préjudice des droits supplémentaires en cas d'augmentation ultérieure de la fourniture; b) les frais d'entretien du matériel appartenant à la commune dont la charge lui incombait et qu'elle a imposés à la société concessionnaire.

4° Si un contrat de concession contient comme dans l'espèce précédente, la double stipulation d'une fourniture à faire à la commune et d'un privilège exclusif en ce qui concerne la distribution aux particuliers, mais si, en plus, il est stipulé que tous les ouvrages établis par le concessionnaire seront par lui remis à la commune gratuitement en fin de concession, on se retrouve dans les deux hypothèses solutionnées par la Cour de Cassation que nous avons indiquées (affaire Ville d'Elbeuf, arrêt du 5 février 1889, *Dalloz*, 1889, 1, 198, et affaire Ville de Saint-Nazaire du 20 mai 1890, *Dalloz*, 1890, 1, 349); le tarif de 1,25 fr pour 100 applicable au marché de travaux publics sera pris sur le total de l'évaluation des fournitures et des travaux probables.

Considérations relatives au cahier des charges-type. — Toutes les réflexions que l'on vient de lire, qui concernent la période antérieure au cahier des charges, trouveront leur application pour l'enregistrement des traités de concession rédigés en conformité dudit cahier.

Si nous prenons le type *le plus répandu* d'une concession municipale, nous y trouverons un engagement de la commune, c'est-à-dire de l'autorité contractante, de prendre pour ses services publics un certain nombre de kilowatts-heure : il y aura lieu, dans ces conditions d'évaluer le tarif en appliquant à l'énergie fournie le prix de faveur auquel la commune a droit : c'est un élément certain de taxation. Quelques receveurs, quand il y a un privilège exclusif pour la distribution de la lumière, exigent que le concessionnaire évalue également la valeur des travaux qui doivent rester, en fin de concession et gratuitement, la propriété de la commune : ils trouvent en ce point un second élément de taxation, soumis au même tarif, (1,25 fr pour 100);

enregistrées au tarif du bail, quand elles donnent un droit privatif sur le domaine public; et n'ont pas à être enregistrées dans le cas contraire parce que les redevances, sans présenter un caractère de lien contractuel, ne constituent que des indemnités.

⁽¹⁾ Si cette fourniture avait été indiquée comme une possibilité éventuelle, il y aurait eu lieu à estimation provisoire.

nous n'y voyons aucun obstacle juridique, à la seule condition toutefois que, dans la rédaction de l'article 22, les parties contractantes aient adopté un libellé qui concorde avec une pareille exigence : c'est ce que beaucoup de receveurs oublient d'examiner : je parle surtout de ceux qui veulent enregistrer un cahier — un peu effrayant de longueur — sans l'avoir lu minutieusement.

L'abandon gratuit à la commune n'est en aucune façon rendu obligatoire par le contrat de concession : sans doute, le cahier des charges interdit à la commune de « payer » quand la concession arrivera à terme les ouvrages qui seront établis sur le domaine public. Mais la commune peut parfaitement user, à ce moment, d'un droit qui lui est réservé par l'article 22 et exiger du concessionnaire l'enlèvement de tous lesdits ouvrages, pour recouvrer, libre de toute occupation, le domaine public : elle pourra alors en disposer en faveur d'un autre concessionnaire, rien ne l'obligeant à renouveler sa concession en faveur du titulaire primitif; c'est pour ce motif que l'article 22 commence par ces mots : *à l'expiration de la concession, la commune aura la faculté.....*; un alinéa rédigé en italique et une note inscrite sous l'article 22 permettent aux contractants de changer en une réalité l'éventualité stipulée, la commune renonçant alors à exiger l'enlèvement et promettant au concessionnaire de garder pour elle tous les ouvrages établis. Dans ces conditions, on comprend très bien que le concessionnaire ait à évaluer le montant des ouvrages, ladite évaluation étant faite pour les seuls besoins de l'enregistrement : c'est-à-dire que son insuffisance ne saurait faire encourir une amende ou un double droit quelconque au déclarant : il ne faut même pas perdre de vue que le tableau récapitulatif des ouvrages qui seront abandonnés gratuitement à la commune ne pourra être arrêté qu'à la fin de la concession, car il est toujours susceptible de s'accroître. Il est intéressant de remarquer les espèces dans lesquelles la Cour de Cassation a donné comme règle qu'il y avait lieu de faire entrer dans la valeur du marché, au point de vue fiscal, l'évaluation des travaux à accomplir; il était stipulé, dès le contrat initial, non seulement que le concessionnaire aurait un monopole, mais que, d'une façon définitive et sans qu'une option fût réservée à une des parties contractantes, tout ce qui occupait le domaine public devait gratuitement être abandonné à la Ville d'Elbeuf (arrêt précité du 5 février 1889) et à la Ville de Saint-Nazaire (arrêt précité du 20 mai 1890).

En dernier lieu, on ne saurait trop remarquer que toutes les dispositions du cahier des charges, même celles qui sont inscrites en italique, concordent d'une façon complète et *dépendante* (pour employer le terme fiscal) avec le résultat à atteindre et que les locations auxquelles il est fait allusion dans divers articles, s'incorporent nettement au contrat tout entier.

Prenons, par exemple, l'article 5 : il envisage que la commune donne un réseau dont elle est propriétaire ; ce réseau peut ou avoir été depuis longtemps établi, ou

être créé au moment même de la concession, peut être par le concessionnaire lui-même, agissant comme un entrepreneur étranger pourrait le faire : quoi qu'il en soit, le distributeur prend en charge cette location : pourquoi le fisc ne peut-il pas appliquer la disposition « indépendante » de bail, comme il l'a fait, dans l'espèce du gaz de Lyon ? Parce que, ainsi que nous l'avons dit, la Cour de Cassation a très bien souligné l'unique motif de sa décision : il était stipulé que, dans le cas de résiliation du marché de la Compagnie du Gaz, le bail, loin de cesser était continué dans sa forme et teneur pour le loyer annuel de 200 000 fr, tandis qu'au contraire, nous voyons l'article 5 du cahier lier l'idée de location à l'idée de concession, dans des termes tellement formels que le doute n'est pas possible : « la présente location est consentie pour la durée de la concession, mais elle cesserait de plein droit en cas de rachat ou de déchéance. »

Dans l'article 7, nous voyons aussi la commune s'engager à mettre à la disposition du concessionnaire, telle partie du domaine communal qui sera jugée nécessaire à l'établissement d'un ouvrage. Or, quel est le but de la concession ? C'est d'occuper tout le domaine de l'autorité concédante, pour que le réseau soit établi et, quand elle refuse la délivrance d'une permission à

cet effet (voir notre précédent article), le Conseil d'Etat considère que cette autorité commet une violation du contrat. Il ne pourrait y avoir un droit de mutation immobilière que si le concessionnaire s'engageait, à établir, par exemple, sur un terrain lui appartenant une usine de distribution ou un transformateur et à laisser ledit terrain à la disposition de la commune en fin de concession ; la mutation immobilière ne porterait évidemment que sur la valeur du terrain et non pas sur la valeur de l'usine, car, construite sur une surface devenant la propriété de la commune, l'usine est censée être édiflée pour le compte de celle-ci : c'est pour cela que le droit du concessionnaire, comme on l'a fort bien dit est toujours un droit *mobilier* ; les immeubles affectés au service public font partie du domaine communal, même pendant la durée de la concession. Le droit du concessionnaire ne cesse pas d'être mobilier quand il achète pour le compte de l'administration, soit de ses deniers personnels, soit par expropriation faite à ses frais, les terrains nécessaires à l'établissement du réseau. (Voir *Dictionnaire de l'Enregistrement*, V, Marché, n° 205, et Cour de Cassation, Chambres réunies, 12 juillet 1875, *Dalloz*, 1875, 1, 341).

Paul BOUGAULT,

avocat à la Cour de Lyon.

Note sur la spécification dans les contrats du régime hydraulique d'une chute d'eau

Dans cette note, l'auteur propose que les cas dans lesquels une société de distribution d'énergie électrique d'origine hydraulique peut réduire la puissance qu'elle s'est engagée à fournir normalement à ses clients soient nettement spécifiés dans les contrats d'après certaines données météorologiques, en particulier d'après la hauteur d'eau de pluie tombée et d'après la température.

La sécheresse exceptionnelle de 1921 a attiré l'attention de nombreux secteurs hydroélectriques sur l'inconvénient que présente l'existence dans les contrats de fourniture d'énergie de termes insuffisamment précis.

C'est ainsi que beaucoup de ces contrats autorisent des réductions de puissance dans les cas de basses eaux, de basses eaux extrêmes, d'étiages anormaux, de sécheresse exceptionnelle, etc., et que d'autres prévoient dans ces mêmes cas des suppléments de prix pour production thermique de l'énergie.

Il surgit alors entre producteurs et consommateurs des contestations parfois très graves qu'un peu de précision eût permis d'éviter.

Le plus simple serait assurément de définir le régime de la rivière par son débit et de dire par exemple que les basses eaux d'étiage normal correspondent à un débit inférieur à 40 m³ : s. et celles d'étiage exceptionnel à 30 m³ : s. etc.

Mais cette simplicité n'est qu'apparente et cela pour plusieurs raisons. D'abord la mesure des débits est une

affaire longue et délicate : il est vrai, cependant, que deux limnigraphes placés en des points conjugués du canal d'amenée permettraient, après un étalonnage soigné, de définir et d'enregistrer le débit du canal avec une précision suffisante.

Il ne faut pas songer, si l'on recherche de la précision, à la mesure des kilowatts à la sortie de l'usine ; cette mesure dépend essentiellement du régime de marche adopté et de l'état d'entretien des turbines et ne tient naturellement aucun compte de l'eau qui pourrait déverser dans la rivière. Elle n'inspirerait donc pas confiance aux consommateurs.

Ces diverses mesures sont de plus à la portée d'un seul contractant, le producteur, dont les relevés pourront toujours être suspectés par l'autre partie.

Il devient aussi de plus en plus rare qu'un réseau soit alimenté par une seule usine : il faudrait donc à chaque instant faire la somme des poncelets disponibles dans l'ensemble des usines couplées, ce qui serait assez compliqué.

Enfin, ce système a le très grave inconvénient d'in-

corpérer dans le débit naturel de la rivière, celui résultant de l'emploi, de plus en plus généralisé, des réserves empruntées à des lacs ou à des bassins artificiels : il aboutirait donc finalement à éloigner les producteurs de la recherche de cette solution d'un intérêt cependant si général.

Il semble, dans ces conditions, que la solution logique soit de s'inspirer exclusivement des données météorologiques, lesquelles font l'objet de rapports de commissions officielles absolument indépendantes des intérêts en jeu.

Dans les régions de plaines ou collines, la pluviométrie seule suffira généralement. Pour les chutes glaciaires, il sera intéressant de faire intervenir aussi la température et même parfois la saison.

PLUVIOMÉTRIE. — Les relevés pluviométriques seraient exécutés de préférence au centre du bassin de chaque usine et totalisés à chaque décade ou à chaque quinzaine. Le régime hydraulique serait défini par la cote pluviométrique des deux ou trois derniers mois en prenant toutefois la précaution de réduire le coefficient de chaque période au fur et à mesure qu'on s'éloigne dans le passé.

Par exemple :

| PÉRIODE | COEFFICIENT | HAUTEUR D'EAU RÉELLEMENT TOMBÉE | PRODUIT |
|-------------------------------------------|-------------|---------------------------------|---------|
| Dernière décade. 0-10 | 10 | 5 | 50 |
| Avant-dernière. 10-20 | 7 | 30 | 210 |
| Décades précédentes 20-30 | 5 | 10 | 50 |
| id 30-40 | 4 | 5 | 20 |
| id 40-50 | 3 | 6 | 18 |
| id 50-60 | 2 | 50 | 100 |
| Hauteur pluviométrique conventionnelle. . | | | 448 |

Le résultat du calcul sera la détermination d'une hauteur pluviométrique conventionnelle qui caractérisera, croyons-nous, avec une exactitude pratiquement suffisante, le régime de la rivière. Dans les contrats, au lieu de parler en termes vagues de hautes, moyennes, ou basses eaux, on indiquera la hauteur conventionnelle correspondante.

TEMPÉRATURE. — Pour certaines chutes de montagne, les données précédentes pourront être complétées utilement par des corrections basées, pour les mêmes raisons, sur les relevés officiels de la température ou fixés d'après les saisons astronomiques.

On pourra, par exemple, stipuler que, lorsque la température moyenne de la journée tombera en-dessous de $+ 5^{\circ}$ au poste d'observation choisi, les hauteurs pluviométriques conventionnelles calculées comme il est dit ci-dessus subiront une réduction de 3 pour 100 par chaque degré centésimal en dessous de 5° .

On pourra stipuler aussi que pendant certains mois ces hauteurs subiront une réduction ou une majoration déterminée a priori. Ce dernier procédé est évidemment moins scientifique, mais il est aussi plus simple.

Nous avons surtout cherché, dans ce qui précède, à attirer l'attention des distributeurs et des consommateurs sur la perfidie de l'emploi des formules vagues et sur l'utilisation de certaines données officielles et indiscutables propres à lever leur indétermination : les solutions proposées peuvent d'ailleurs être modifiées à l'infini.

Nous estimons, quant à nous, que l'allongement consécutif d'un des articles du contrat trouvera une large compensation dans l'atmosphère de parfaite loyauté qui en résultera pour son application et pour le bon renom de l'industrie hydroélectrique.

LOUIS AUSSÉDAT,
Directeur général de la
Société des Forces du Fier.

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur l'assujettissement au droit de timbre des lettres de voiture.

Le « Journal officiel » du 25 décembre 1924 publie, page 5276 des « Débats parlementaires, Chambre » la question et la réponse suivantes :

11392. — M. Grinda, député, demande à M. le ministre des Finances en vertu de quels textes l'administration assujettit au timbre de dimension des lettres missives et des notes d'expédition émanant des agents de transport et s'il ne lui paraît pas qu'une interprétation plus libérale desdits

textes devrait être admise, ces droits grevant considérablement les frais de transport. (Question du 12 décembre 1921.)

Réponse. — Les lettres de voiture sont assujetties au droit de timbre de dimension en vertu des dispositions des articles 12, n° 1, paragraphe 11 de la loi du 13 brumaire an VII et 6 de celle du 11 juin 1842. D'après la jurisprudence de la Cour de Cassation, on doit considérer comme des lettres de voiture, les lettres missives ou notes d'expédition émanant des entrepreneurs de transport qui contiennent les énonciations essentielles prévues par l'article 102 du Code de Commerce. Il n'est pas au pouvoir de l'administration des finances d'atténuer la portée des lois fiscales applicables en cette matière.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 4.

28 JANVIER 1922.

Chronique. — Nécrologie : François Brocq. — Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, p. 113-114.

Section scientifique et technique. — Sur le galvanomètre balistique, p. 115. — Revues, analyses et informations : Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? p. 116; Sur le potentiel explosif des gaz aux pressions élevées, p. 118; Etude du champ électrique au moyen de la photographie, p. 119.

Section industrielle. — Le nouveau matériel J. Estrade à la Semaine d'Électromotoculture d'Ondes, par Ach. DELAMARRE, p. 121. — Au sujet des démarreurs électriques pour moteurs à explosion, par M. DIGEON, p. 128. — Revues, analyses et informations : Moto-pompes pour usages domestiques et industriels, p. 130; La traction monophasée en Suisse, p. 131; Moteurs à collecteur à vitesse variable, p. 132.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : Le Comptoir central d'Achats industriels pour les Régions envahies, p. 133. — Assemblées générales : Société des Accumulateurs électriques (Anciens Etablissements Alfred Dinin), p. 135; Sud-Électrique, p. 136.

Section de législation. — Pénalités prévues par le cahier des charges des distributions communales, le cautionnement, articles 30 et 31 du cahier des charges, par Paul BOUGAULT, p. 137. — La sécheresse des années 1919-1921 et les restrictions d'énergie électrique, par R. DE RHAM, p. 140.

Nécrologie : François Brocq. — Dans notre numéro du 29 octobre 1921, t. x, p. 586, en faisant part à nos lecteurs de la mort de François Brocq, décédé le 20 octobre 1921, nous disions quelques mots de la carrière administrative et des travaux techniques de cet ingénieur. Aujourd'hui, en même temps que nous reproduisons ses traits d'après un agrandissement d'une photographie de carte d'identité, nous donnons ci-dessous quelques compléments à ce que nous écrivions il y a trois mois bientôt

François Brocq, après avoir fait de brillantes études couronnées par le premier prix de Physique au Concours général, entra à l'Ecole centrale en 1879. Etant encore élève, il inventa un appareil destiné à mesurer l'eau entraînée par la vapeur. Dès sa sortie de l'Ecole centrale, voulant faire construire cet appareil, il s'adressa à la maison Michel où M. Frager, séduit par ses qualités, l'engagea et le chargea de l'étude des compteurs d'eau.

De leur collaboration féconde sortirent des compteurs

et dont les études et la réalisation furent si soigneusement poussées qu'après trente ans la fabrication en est restée sensiblement la même.

Lorsque plus tard la maison Michel, devenue la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'usines à gaz décida d'entreprendre la construction des compteurs électriques et des appareils de mesure, Brocq, sans préparation préalable, grâce à son esprit compréhensif extraordinaire, s'assimila toutes les connaissances utiles qu'il ne cessa d'acquiescer.

Avec sa vigueur coutumière, il participa à l'élaboration des différents modèles, il guida les études avec son sens profond de la réalisation, il se dépensa sans compter dans les usines, organisant les ateliers de fonderie, d'emboutissage, de découpage, créant des outillages spéciaux. Ses vues originales lui firent trouver des solutions simples

et élégantes pour tous les problèmes posés par une fabrication extrêmement complexe.



François Brocq
décédé le 20 octobre 1921.

Pendant près de quarante ans il a consacré à la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs sa haute intelligence, sa laborieuse activité, et l'a fait profiter d'une expérience chaque jour accrue et confirmée.

Pendant la guerre, le souci de tous ses instants fut de servir son pays. Il s'attaqua au problème du tir contre avions. Sans une minute de repos il étudia, il construisit, il mit au point, se rendant personnellement sur la ligne de feu dans les unités d'artillerie qui étaient dotées de ses appareils. Le résultat de ce travail acharné fut le « correcteur Brocq », appareil de conduite de tir pour les canons contre avions. Cet appareil fut adopté par les armées françaises, belges, anglaises et américaines, qui, grâce à lui, descendirent plus de trois cents avions ennemis.

La France, en reconnaissance, l'avait nommé chevalier de la Légion d'honneur et l'Angleterre, commandeur du British Empire.

Il voulait qu'après la victoire nous restions forts et c'est pourquoi, lorsque la mort est venue le surprendre, il venait de mettre la dernière main à un appareil de télépointage destiné à centraliser la conduite du tir des canons des navires, appareil qui, après des essais brillants, venait d'être adopté par la marine française.

Son extrême serviabilité, son esprit si vif, lui amenèrent des amitiés nombreuses dans le monde scientifique et industriel. Son génie inventif et ses connaissances si étendues lui permirent de conseiller utilement des esprits aussi fertiles que ceux qui présidèrent à la réalisation de l'air liquide et à la synthèse de l'ammoniaque, ainsi que M. Georges Claude, avec une modestie qui lui fait honneur, a tenu lui-même à le déclarer sur sa tombe.

Ses administrateurs, ses collaborateurs, ses ouvriers avaient pour lui une affection profonde. Tous ceux qui l'ont connu l'aimèrent et dans leur cœur son souvenir restera pour eux comme un exemple.

Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale : Séance du 10 décembre 1921. — Ainsi que nous l'avons annoncé, M. Angel MARVARD, chargé de mission en Espagne, a fait à cette séance une communication intitulée : *Les possibilités offertes par l'Espagne à l'expansion économique de la France.*

Après avoir rappelé que l'Espagne constituait déjà avant la guerre un important débouché à nos exportations et résumé les phases diverses de nos relations commerciales avec ce pays depuis 1914, l'auteur conclut que la France peut et doit aider à son développement économique et à sa

mise en valeur : elle en recueillera, dit-il, un double bénéfice, à la fois matériel, puisque cela servira à sa propre expansion, et moral, puisqu'elle réussira ainsi à se faire de ce pays un ami véritable.

Il existe, dit-il, dès maintenant en Espagne, de nombreuses entreprises françaises, dont certaines, telles que la Société Minière et Métallurgique de Penarroya ont pris un grand développement. Mais il reste encore beaucoup à faire, car si l'on tient compte des richesses, d'ailleurs insuffisamment connues, du sol et du sous-sol de ce pays, le champ d'action est pour ainsi dire, illimité.

En ce qui concerne les mines, il faut noter la politique, de plus en plus marquée chez nos voisins, tendant à exploiter sur place les minerais, tels que le fer et le cuivre, au lieu de les exporter.

S'inspirant de cet état d'esprit, l'initiation française a créé récemment, près de Cordoue, avec la participation espagnole, d'importants établissements, en vue de la fabrication du cuivre électrolytique. C'est un des exemples les plus intéressants de collaboration des deux pays qu'on puisse signaler.

Parmi les autres branches qui paraissent appelées à un bel avenir et où la France peut également apporter à sa voisine un concours des plus utiles, on peut citer, en dehors des industries métallurgiques et mécaniques, les industries chimiques et pharmaceutiques, l'industrie hydroélectrique avec ses multiples applications et l'industrie maritime.

Dans les circonstances actuelles, il ne saurait s'agir pour nous que d'introduire le moins de capitaux possible en Espagne. Mais on peut croire que les entreprises françaises, moyennant certaines conditions, peuvent trouver sur place une aide financière.

Nous pouvons offrir à nos voisins un personnel technique et des procédés pour aider à leur développement économique. Nous pouvons aussi les faire profiter de notre esprit d'organisation. La main-d'œuvre espagnole présente des qualités indéniables, et c'est, au surplus, un fait avéré que les entreprises françaises, sans doute parce qu'elles sont plus attentives aux besoins de leur personnel et qu'elles se tiennent davantage en contact avec lui, ont relativement moins souffert de l'agitation sociale de ces dernières années.

Un esprit d'étroit nationalisme s'est accentué en Espagne — comme ailleurs — au cours de la guerre : il a trouvé notamment son expression dans des dispositions fiscales frappant d'un régime de rigueur les sociétés étrangères. Il est permis de croire, ajoute l'orateur, que nos voisins ne tarderont pas à revenir sur ces mesures qui leur sont à eux-mêmes très préjudiciables. La solution du différend douanier actuel devrait être cherchée, semble-t-il, dans un accord basé sur le principe de réciprocité : les deux pays y arriveront sans doute, quand ils seront convaincus que leur inter-pénétration économique est conforme à leurs véritables intérêts et qu'elle sert aussi, de la façon la plus efficace, au raffermissement de leur entente politique, si désirable à tous égards.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Sur le galvanomètre balistique

Dans une étude faite par M. Germani sur le galvanomètre balistique et publiée dans le numéro du 26 juillet 1919 de « la Revue générale de l'Electricité », l'auteur, partant des formules enseignées par M. Chaumat, dans son cours à l'Ecole supérieure d'Electricité, avait établi que la courbe représentative de l'élongation en fonction de la résistance du circuit shuntant le galvanomètre partait de l'origine, puis présentait un point d'inflexion, c'est-à-dire, était convexe par rapport à l'axe des R, pour devenir ensuite concave par rapport à ce même axe. — M. Chaumat, reprenant l'étude de cette question dans une note présentée à l'Académie des Sciences ⁽¹⁾, que nous reproduisons ci-après, démontre que, au contraire, cette courbe, partant de l'origine, présente constamment sa concavité vers l'axe des R et ne comporte pas de points d'inflexion.

Le mouvement d'un galvanomètre balistique obéit à l'équation connue

$$(1) \quad K \frac{d^2\theta}{dt^2} + A \frac{d\theta}{dt} + C\theta = 0.$$

Si le galvanomètre est du type à cadre mobile, fonctionnant sur un circuit de résistance totale R et de self-induction négligeable, A peut se mettre sous la forme

$$A = A_1 + \frac{\Phi_0^2}{R},$$

A_1 étant la valeur de A à circuit ouvert et Φ_0 , le produit de la surface totale du cadre mobile par la valeur moyenne du champ.

Si l'on suppose le système lancé avec une vitesse angulaire initiale ω_0 , en posant

$$(2) \quad m = \frac{A_1}{2\sqrt{KC}} + \frac{\Phi_0^2}{2R\sqrt{KC}},$$

l'élongation θ sera donnée par les formules suivantes :

$$(3) \quad \theta = \omega_0 \sqrt{\frac{K}{C}} (m - \sqrt{m^2 - 1})^{\frac{m}{\sqrt{m^2 - 1}}} \quad (\text{pour } m > 1),$$

solution qui correspond au mouvement apériodique, m variant entre l'infini (pour $R = 0$) et l'unité ;

$$(4) \quad \theta = \omega_0 \sqrt{\frac{K}{C}} e^{-\frac{m}{\sqrt{1-m^2}} \arctan \frac{\sqrt{1-m^2}}{m}} \quad (\text{pour } m < 1)$$

(e , base des logarithmes népériens),

⁽¹⁾ *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 3 janvier 1922, t. CLXXIV, p. 32.

solution qui correspond au mouvement périodique amorti, m variant entre l'unité et la valeur $\frac{A_1}{2\sqrt{KC}}$ qui correspond au fonctionnement à circuit ouvert ($R = \infty$).

Enfin, ces deux formules tendent l'une et l'autre vers le cas de passage (*apériodicité critique*) pour $m = 1$ et pour lequel on a la formule remarquablement simple

$$(5) \quad \theta = \omega_0 \sqrt{\frac{K}{C}} \frac{1}{e}.$$

Cette formule (5) correspond, comme nous l'avons dit, à la valeur $m = 1$ et à une valeur de la résistance totale du circuit d'amortissement dite *résistance critique* (R_c) définie par l'équation

$$(6) \quad R_c = \frac{\Phi_0^2}{2\sqrt{KC} - A_1}.$$

La formule (3) correspond aux cas où R varie entre 0 et R_c , la formule (4) aux cas où R varie entre R_c et ∞ .

Ces formules présentent l'intérêt d'être utilisables pour tous les galvanomètres et permettent d'établir des *équations réduites*, car elles font apparaître le rapport, que nous avons appelé m , de la valeur de l'amortissement dans des conditions quelconques de fonctionnement de l'appareil à la valeur de l'amortissement correspondant à la périodicité critique. Elles sont ainsi préférables aux formules classiques.

Il est intéressant de se demander comment varie la fonction $\theta(R)$ donnant l'élongation en fonction de la résistance du circuit d'amortissement pour la même vitesse initiale ω_0 .

Le calcul est assez délicat et se trouve rendu plus commode par les changements de variables suivants :

Posons

$$m = z + \frac{\beta}{R} \left(\alpha = \frac{A_1}{2\sqrt{KC}}; \beta = \frac{\Phi_0^2}{2\sqrt{KC}} \right);$$

$$y = \frac{\theta}{\omega_0} \sqrt{\frac{C}{K}}; \quad x = \frac{R}{\beta}; \quad \text{d'où} \quad x = \frac{1}{m - z}.$$

Posons enfin

$$\text{pour } m > 1, \quad m + \sqrt{m^2 - 1} = e^v;$$

$$\text{pour } m < 1, \quad \text{arc tang} \frac{\sqrt{1 - m^2}}{m} = v.$$

Les formules (3) et (4) sont remplacées par les groupes suivants :

$$(3') \quad \begin{cases} y = e^{-v \coth v}, \\ x = \frac{1}{\cosh v - \alpha} \end{cases}$$

valables pour m variant de $+\infty$ à l'unité en décroissant, c'est-à-dire R variant de 0 à R_c , et x variant de 0 à $\frac{1}{1-\alpha}$ en croissant;

$$(4') \quad \begin{cases} y = e^{-v \coth v}, \\ x = \frac{1}{\cos v - \alpha} \end{cases}$$

valables pour $m < 1$ et décroissant de 1 à α , c'est-à-dire R variant de R_c à l'infini et x croissant de $\frac{1}{1-\alpha}$ à $+\infty$.

Il revient, dès lors, au même d'étudier les fonctions

$$y = f(x) \quad \text{ou} \quad \theta = \varphi(R),$$

on trouve les résultats suivants :

La courbe qui traduit la fonction $\theta(R)$ passe par

l'origine. Les coefficients angulaires intéressants sont
Pour $R = 0$,

$$(7) \quad \frac{d\theta}{dR} = \frac{K\omega_0}{\Phi_0^2};$$

Pour $R = R_c$,

$$(8) \quad \frac{d\theta}{dR} = \frac{1}{3e} \frac{\omega_0}{C\Phi_0^2} (2\sqrt{KC} - A_1)^2.$$

Le coefficient angulaire de la tangente à l'origine est toujours plus grand que le coefficient angulaire de la tangente au point critique et le rapport de ces deux coefficients, pris dans cet ordre, dépend de la valeur de A_1 , mais il est toujours supérieur à $\frac{3e}{4}$.

La courbe $\theta(R)$ a pour direction asymptotique l'axe des R .

La fonction $\theta(R)$ est constamment croissante avec R . Elle part de zéro pour atteindre une valeur limite (correspondant à $R = \infty$).

Cette valeur limite est

$$(9) \quad \theta_{\text{lim}} = \omega_0 \sqrt{\frac{K}{C}} e^{\sqrt{1-\alpha^2} \arccos \alpha}.$$

Enfin la courbe qui traduit la fonction $\theta(R)$ présente sa concavité constamment vers l'axe de R ; elle ne comporte pas de points d'inflexion.

Les deux lignes analytiques qui traduisent les groupes d'équations (3') et (4') se raccordent au point $m = 1$, $R = R_c$, pour lequel elles ont même tangente dont le coefficient angulaire est donné par l'équation (8), mais, pas plus en ce point qu'en n'importe quel autre, la courbe $\theta(R)$ ne présente de particularité.

Ces résultats sont en contradiction avec ceux qui ont été annoncés par M. Germani (1).

Revue, analyses et informations

Dolt-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique ?

Nous avons déjà fait connaître, dans les numéros de cette Revue des 2 juillet et 24 septembre 1921, t. x, p. 13-15 et 398-399, les discussions qui ont eu lieu à la Société française de Physique en vue de donner une réponse à cette question. De nouvelles observations ont été faites à ce sujet dans les dernières séances de la Société; nous les reproduisons ci-dessous :

Observations de M. Abraham (1). — Comme il l'a exposé précédemment, M. Henri Abraham regretterait de voir décider ce dédoublement de l'unité électromagnétique d'induction magnétique et de champ magnétique, parce que, à sa connaissance, rien ne permet d'affirmer qu'il existe une différence de nature entre l'induction et le champ.

(1) Séance du 1^{er} juillet 1921.

Dans le cas du fer saturé, M. Abraham considère comme un fait physique l'addition objective d'un nouveau champ magnétisant à l'induction préexistante, et il pense qu'il ne s'agit pas d'un vain jeu de nombres comme semble l'indiquer M. Brylinski.

La question a été nettement posée, dans une précédente séance, par M. Pomey. Le point de vue auquel s'est placé M. Pomey peut être traduit à peu près ainsi :

« Il ne faut pas confondre l'effet et la cause. Quand vous créez un champ magnétique, ce champ produit à son tour une induction qui, dans le vide, lui est par hasard proportionnelle, mais qui est d'une nature essentiellement différente, comme le sont l'allongement d'un ressort et la force qui le produit. De ces deux grandeurs, c'est le champ et non l'induction qui agit sur l'aiguille aimantée, mais c'est l'induction et non le champ qui, par ses variations, produit les forces électromotrices. »

(1) Revue générale de l'Électricité, 26 juillet 1919.

M. Abraham estime que l'on ne saurait trop s'élever contre ce point de vue. La distinction qui serait faite ainsi constituerait une complication absolument inutile ; elle serait purement verbale et ne reposerait sur rien de réel. Elle tendrait, enfin, à détruire la notion de l'unité de champ magnétique qui, dans l'état actuel de nos connaissances, paraît réellement devoir être conservée.

Réponse de M. Pomey aux observations précédentes ⁽¹⁾.

— Le champ magnétique, dans le vide, se mesure par l'action sur une aiguille d'épreuve aimantée ; on a ainsi \mathcal{H} . L'induction magnétique en un point du vide produit, par ses variations, une force électromotrice induite dans un petit circuit d'épreuve, on a ainsi \mathcal{B} .

Semblablement, le champ électrostatique, dans le vide, se mesure par l'action sur une charge électrique d'épreuve ; on a ainsi E . Le déplacement électrique, dans le vide également, produit, par ses variations, le courant de déplacement, qui se manifeste théoriquement par l'action sur une petite aiguille d'épreuve aimantée ; on a ainsi D .

L'expérience montre qu'on a proportionnalité, dans le vide, entre E et D , d'une part, \mathcal{H} et \mathcal{B} , d'autre part, quand les unités sont choisies arbitrairement, et l'on pose

$$D = \frac{kE}{4\pi}, \quad \mathcal{B} = \mu_0 \mathcal{H}.$$

D'autre part, la propagation des onduations électromagnétiques dépend d'une constante caractéristique, la vitesse de propagation c , reliée à k_0 et μ_0 par la relation : $k_0 \mu_0 c^2 = 1$. Par suite de l'existence de cette relation, il est impossible de considérer simultanément les deux coefficients k_0 et μ_0 comme de simples constantes numériques. Comme il n'y a pas d'autre relation actuellement connue entre eux, le plus simple est de ne conserver qu'un seul de ces deux coefficients, en faisant l'autre égal à l'unité ; mais aucune nécessité logique n'oblige à choisir l'un plutôt que l'autre.

Je suis d'accord avec M. Abraham sur la convenance de ne pas s'encombrer de coefficients superflus. Mais, à mon avis, le mieux est alors de conserver la symétrie entre l'électricité et le magnétisme, en prenant des unités telles qu'on puisse écrire pour les densités d'énergie potentielle et cinétique $\frac{1}{2} D^2$ et $\frac{1}{2} \mathcal{H}^2$. Pour savoir si un coefficient de proportionnalité est un simple coefficient numérique, le critérium le plus net est fourni par l'examen dans un milieu qui n'est plus isotrope ; on reconnaît ainsi que le pouvoir inducteur et la conductibilité électriques, par exemple, deviennent des fonctions vectorielles linéaires. Mais, malheureusement, aucune expérience ne révèle une structure anisotrope du vide, même dans un champ gravifique ? On n'est cependant pas certain qu'un des deux couples de vecteurs considérés ne sera pas un jour dissocié.

Communication de M. Langevin ⁽²⁾. — La discussion soulevée à propos des unités de champ et d'induction magnétiques semble se prolonger sans que les opinions très divergentes émises se soient sensiblement rapprochées. Il est cependant indispensable que nous arrivions à une entente, dans l'intérêt commun de la science, de la technique et de l'enseignement.

La difficulté tient à ce que la question posée se rattache de très près aux problèmes fondamentaux de la constitution des systèmes d'unités et de la nature des grandeurs physiques. Il n'est possible, en effet, de confondre et de désigner

sous le même nom les unités de champ et d'induction que si les deux grandeurs peuvent être considérées comme étant de même nature. Une unité est une grandeur particulière de la nature de celles qu'elle sert à mesurer et l'on ne peut, sans créer de confusion, donner le même nom à des unités de natures différentes.

Il faut tout d'abord donner un sens précis à la question de savoir si deux grandeurs sont ou non de même nature. Il ne suffit pas, pour qu'on puisse affirmer l'identité, que les dimensions soient les mêmes, c'est-à-dire que les mesures varient dans un même rapport quand on modifie les unités fondamentales ou les constantes arbitraires du système. Il faut encore que ces mesures varient de la même manière quand on change le système de coordonnées d'espace ou, plus généralement, le système de référence employé.

Deux grandeurs variables ne pourront évidemment être dites de même nature que si l'une d'elles peut devenir égale à l'autre, et cette égalité, traduite par l'égalité des mesures, doit subsister quel que soit le système de coordonnées ou de référence employé ; l'égalité doit avoir une signification intrinsèque, indépendante du système de coordonnées.

La manière dont se comporte la mesure d'une grandeur ou de ses composantes, quand on change le système de coordonnées, est liée à la notion de symétrie des grandeurs physiques sur laquelle Pierre Curie a si justement insisté et conduit à la classification des grandeurs en scalaires, pseudo-scalaires, vecteurs polaires et axiaux, et tenseurs de divers ordres. En particulier, la distinction des vecteurs polaires et axiaux repose sur les manières opposées dont se comportent les mesures de leurs composantes quand on renverse le sens des axes coordonnés auxquels elles sont rapportées.

De même la différence de nature d'un travail et d'un moment de couple résulte immédiatement du fait que la mesure du premier ne change pas tandis que celle du second change de signe quand on renverse le sens positif choisi pour les rotations.

Quand on applique ce critérium aux grandeurs champ et induction, on constate le fait remarquable que les équations de Maxwell, dans lesquelles est contenu l'essentiel des lois de l'électromagnétisme, conservent exactement leur forme simple habituelle pour un changement quelconque du système de coordonnées ou, plus généralement, du système de référence au sens de la relativité généralisée, aussi bien dans le vide que dans un milieu matériel quelconque, en repos ou en mouvement par rapport aux observateurs, à condition que les composantes du champ et de l'induction magnétiques subissent des transformations différentes.

Prenons un des exemples les plus simples de changement de coordonnées d'espace, changement qui, ne portant pas sur la mesure du temps ne soulève aucune des difficultés qu'on croit encore pouvoir opposer à la théorie de relativité, celui qui consiste à passer d'un système de coordonnées rectangulaires (x, y, z) à un système oblique (ξ, η, ζ) , les axes $O\xi$ et $O\eta$ coïncidant avec Ox et Oz tandis que $O\zeta$, perpendiculaire à $O\eta$ fait avec $O\xi$ un angle θ quelconque. Les transformations des composantes $(\mathcal{H}_x, \mathcal{H}_y, \mathcal{H}_z)$ du champ magnétique et $(\mathcal{B}_x, \mathcal{B}_y, \mathcal{B}_z)$ de l'induction qui conservent leur forme aux équations de Maxwell sont les suivantes :

$$(1) \quad \begin{cases} \mathcal{H}_\xi = \mathcal{H}_x, \\ \mathcal{B}_\xi = \mathcal{B}_x \sin \theta - \mathcal{B}_y \cos \theta, \\ \mathcal{H}_\eta = \mathcal{H}_y \sin \theta + \mathcal{H}_x \cos \theta, \\ \mathcal{B}_\eta = \mathcal{B}_y, \\ \mathcal{H}_\zeta = \mathcal{H}_z, \\ \mathcal{B}_\zeta = \mathcal{B}_z \sin \theta, \end{cases}$$

⁽¹⁾ Séance du 18 novembre 1921.

⁽²⁾ Séance du 2 décembre 1921.

La relation entre les composantes du champ et de l'induction dans le vide, qui s'écrit en coordonnées rectangulaires dans le système électromagnétique,

$$(2) \quad \mathcal{B}_x = \mathcal{H}_y, \quad \mathcal{B}_y = \mathcal{H}_x, \quad \mathcal{B}_z = \mathcal{H}_z,$$

devient, avec les coordonnées obliques simples que nous avons admises,

$$(3) \quad \begin{cases} \mathcal{B}_z \sin \theta = \mathcal{H}_z - \mathcal{H}_x \cos \theta, \\ \mathcal{B}_x \sin \theta = \mathcal{H}_x - \mathcal{H}_z \cos \theta, \\ \mathcal{B}_y = \mathcal{H}_y \sin \theta. \end{cases}$$

L'égalité des mesures du champ et de l'induction dans le vide ne peut exister qu'avec des axes rectangulaires et disparaît dans tout autre système de coordonnées. Elle n'a donc aucune signification intrinsèque.

La théorie de relativité généralisée montre de plus, que les équations de Maxwell conservent encore leur forme pour un système de référence quelconque et en présence d'un champ de gravitation quelconque à condition que les composantes du champ et de l'induction subissent des transformations différentes. Ces équations simples expriment ainsi, non seulement les lois de l'électromagnétisme, mais aussi l'influence de la gravitation sur les phénomènes électromagnétiques.

Il est donc nécessaire de considérer comme distinctes les grandeurs *champ* et *induction* magnétiques aussi bien que les grandeurs électriques correspondantes qui sont, respectivement, l'*induction* et le *champ* électrique et d'employer pour les mesurer des unités différentes portant des noms différents.

Ceci n'empêche pas d'ailleurs d'employer, dans la pratique, un système de référence particulier qui donne leur forme la plus simple aux équations complémentaires telles que (3), par exemple la forme (2) qui correspond au cas très particulier du vide, avec des axes rectangulaires d'espace liés à des observateurs en chute libre et sans rotation dans un Univers euclidien.

M. Langevin reviendra ultérieurement sur cette question et sur d'autres qui s'y rattachent.

Nouvelles observations de M. Abraham (1). — M. Abraham qui se propose de répondre à la récente communication de M. Langevin quand celui-ci aura terminé son exposé, demande à présenter les observations suivantes sur la question de l'identité de nature de l'induction et du champ magnétique. Il a été fait l'objection suivante.

« Si l'on veut admettre cette identité de nature, pourquoi ne pas admettre aussi que le *champ électrique* et le *déplacement électrique* sont des grandeurs de même espèce? Or, si l'on fait cette double supposition, la perméabilité magnétique μ et le pouvoir inducteur spécifique k sont tous deux des nombres, et cela est incompatible avec la relation connue.

$$k\mu c^2 = 1,$$

où figure la vitesse de propagation c . »

Cette objection ne tient pas. La formule indiquée est en effet incomplète, elle doit contenir un facteur de plus, et on doit l'écrire.

$$k\mu c^2 = \lambda^2$$

en désignant par λ le coefficient de proportionnalité de la formule

$$i = \frac{1}{\lambda} \frac{dq}{dt}$$

qui représente ces deux lois physiques : partout où il y a

(1) Séance du 16 décembre 1921.

débit d'électricité, il y a courant; et la valeur de ce courant est proportionnelle à la rapidité $\frac{dq}{dt}$ de l'écoulement des charges.

Si ce coefficient λ ne figure pas dans les formules usuelles c'est que, par une convention tacite, on l'a supposé égal à un. Le rétablissement du facteur supprimé fait disparaître toute contradiction.

On ne doit pas oublier que les formules qui résument les lois de l'électricité représentent à la fois des lois expérimentales et les conventions faites arbitrairement dans le choix des unités. La contradiction apparente objet de la présente note, résultait de ce que, sans le dire, on avait fait la constante λ égale à un, ce qui impliquait, une relation entre k , μ , et la vitesse de la lumière c ; comme nous venons de le dire, cette relation n'est nullement une loi physique, mais bien la conséquence d'une convention arbitraire faite tacitement.

Sur le potentiel explosif des gaz aux pressions élevées.

A la séance du 18 novembre 1921 de la Société française de Physique, M. Ch.-Eug. Guye, professeur de physique à l'Université de Genève, a fait sur ce sujet une communication dont nous donnons ci-dessous le résumé.

Depuis que l'on possède, par la théorie de l'ionisation, le fil conducteur qui permet de suivre la complexité des phénomènes de la décharge disruptive, les travaux exécutés dans ce domaine sont entrés, comme on sait, dans une ère nouvelle, particulièrement féconde.

Ils ont conduit à l'explication de la loi de Paschen sur le potentiel explosif, loi qui envisagée du point de vue de la théorie cinétique s'exprime, dans le cas d'un champ uniforme, par la relation

$$(1) \quad V = f(\delta a),$$

V potentiel explosif, δ masse de l'unité de volume du gaz, a distance des plateaux entre lesquels jaillit la décharge.

Il paraissait digne d'intérêt de rechercher dans quelles limites la loi représentée par l'expression (1) restait valable, au fur et à mesure que la densité du gaz augmentait en se rapprochant de l'état liquide; c'est-à-dire au fur et à mesure que l'on s'éloigne davantage des conditions que suppose la théorie cinétique des gaz.

En outre, la polarisation diélectrique peut intervenir et créer une sorte de champ moléculaire dont l'action s'ajouterait à celle du champ extérieur pour faciliter le passage de la décharge. Divers travaux ont donc été entrepris dans le but d'étudier les conditions de la décharge aux pressions élevées.

1° MM. C.-E. GUYE et P. MERCIER, en expérimentant avec de larges électrodes planes (45 mm de diamètre) et pour des distances de 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm et 5 mm ont trouvé, pour l'anhydride carbonique aux pressions élevées, une divergence considérable avec la formule (1) et cela particulièrement pour les deux plus petites distances de 1 mm et 0,5 mm. Dans ce dernier cas, ils ont remarqué une modification profonde dans la nature de l'étincelle, qui produit alors un bruit bas et sec, en même temps qu'elle illumine plus fortement le gaz, comme le ferait une étincelle de plus grande capacité.

La divergence (1) qui existe entre les résultats expérimentaux aux faibles distances et la formule théorique (1) semble résulter d'une accumulation des ions au voisinage des électrodes. Cette accumulation a , comme on sait, pour conséquence de rendre le champ non uniforme et d'abaisser ainsi le potentiel explosif. Dans le cas des pressions élevées,

(1) Le potentiel explosif n'est plus guère que les $\frac{5}{7}$ de sa valeur théorique, correspondant à la plus grande valeur du produit δa .

elle doit prendre une importance particulièrement marquée au voisinage du potentiel explosif lorsque les électrodes sont très rapprochées et de grande surface. Dans ce cas, les ions accumulés ne peuvent, en effet, que très difficilement diffuser latéralement.

Dans le but de vérifier plus directement cette hypothèse, de nouvelles séries de déterminations furent effectuées sur l'azote en employant des électrodes de forme et de dimensions différentes, de façon à modifier, dans une large mesure, les conditions dans lesquelles peut s'effectuer la diffusion latérale des ions.

2° MM. G. HAMMERSCHMIDT et P. MERCIER ont bien voulu se charger de cette étude. En expérimentant à diverses pressions et en utilisant successivement de grandes électrodes planes (45 mm de diamètre); de petites électrodes planes (10 mm de diamètre); diverses électrodes en forme de calotte sphérique dont les plus petites avaient 7,5 mm de rayon de courbure, ces expérimentateurs ont obtenu les résultats suivants :

Avec les grandes électrodes planes, la divergence d'avec la formule (1) est considérable; le potentiel explosif n'est pour la grande divergence que les $\frac{3}{2}$ environ de la valeur que lui

assignerait la formule théorique: la divergence est surtout manifeste pour les petites distances de 0,5 mm à 1,5 mm. Pour les petites électrodes planes, la divergence n'existe plus de façon notable que pour les distances de 0,5 mm à 1 mm.

3° Enfin, pour les plus petites électrodes, il y a accord très satisfaisant avec la formule théorique (1) pour toutes les distances. Il semble donc bien que, dans ce dernier cas, la diffusion latérale des ions est suffisamment aisée pour que le champ redevienne pratiquement uniforme du moins dans les limites de ces expériences.

En reprenant avec ces petites électrodes les expériences sur l'anhydride carbonique, MM. GUYE et MERCIER n'ont pas retrouvé pour ce gaz la même concordance; toutefois la divergence avec la formule théorique est considérablement diminuée relativement à ce qu'elle était dans les expériences antérieures. Il est vrai que les coefficients de diffusion, les mobilités et le pouvoir ionisant des ions de CO_2 ne sont plus alors les mêmes que pour l'azote. On pourrait donc attribuer la divergence à la même cause que pour l'azote, sans cependant pouvoir l'affirmer de façon définitive.

La conséquence à tirer de l'ensemble de ces expériences est que les considérations théoriques qui sont à la base de la formule (1) restent vraisemblablement valables, même pour des pressions atteignant 50 mm. Mais le phénomène de l'inégale répartition des ions prend alors, aux pressions élevées, une telle importance et introduit une perturbation qui rend cette vérification directe très délicate. Cette perturbation est d'autant plus grande que la première est plus élevée, les électrodes de dimensions plus grandes et leur distance plus petite (1).

M. Guye donne, en outre, quelques détails sur le dispositif expérimental, en particulier sur la mesure des hauts potentiels pour les électromètres sous pression, ainsi que sur le contrôle direct de la distance des électrodes aux diverses pressions; il renvoie, pour plus de détails, aux mémoires parus ou actuellement en cours de publication.

Etude du champ électrique au moyen de la photographie (2).

Cette étude peut être faite très simplement, d'après la méthode suivante, découverte par l'auteur vers la fin de

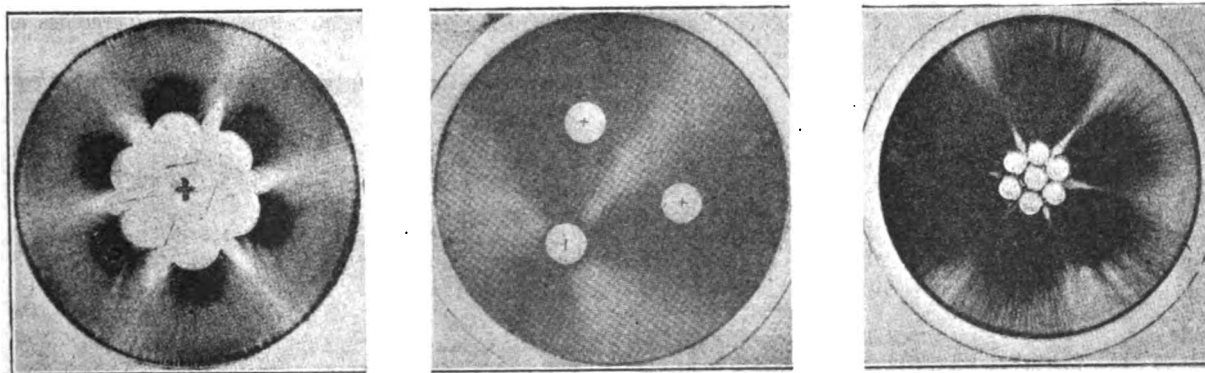


Fig. 1. — Champ produit avec du courant continu (câble à conducteur unique). — Fig. 2. Champ produit avec du courant continu (câble à trois conducteurs). — Fig. 3. Champ produit avec du courant alternatif (câble à conducteur unique).

l'année 1920; on obtient, avec elle, des images du champ qui fournissent des données intéressantes sur l'intensité relative en ses différents points.

L'agent photographique, sensible à la lumière (papier, plaque ou film) est placé à l'endroit où l'on désire étudier les particularités du champ; l'objet soumis à l'épreuve est porté à la tension requise en utilisant soit une machine électrique à influence, soit un condensateur, une dynamo ou un transformateur. Comme la tension doit être suffisamment élevée pour qu'il en résulte la production de lueurs dans la région étudiée, il est avantageux de disposer un éclateur à intervalle réglable sur les conducteurs reliant la source d'énergie à l'objet essayé. Après que celui-ci a été mis sous tension, le papier ou plaque sensible sont enlevés et développés et fixés comme à l'ordinaire.

Les figures 1, 2, et 3 reproduisent des photographies obtenues à l'aide du procédé exposé; dans les essais correspondants, la tension, était développée, pour les deux premiers,

au moyen d'une machine à influence, et, pour le dernier, au moyen d'un appareil à courant alternatif.

(1) Il est aisé de démontrer que le nombre α des chocs ionisants pour un parcours de 1 cm qu'effectue un centre chargé, croît à peu près proportionnellement à la pression. On a, en effet, approximativement

$$\alpha = A p e^{-\frac{B}{X}} = \frac{A p}{1 + B \frac{p}{X} + \frac{B^2 p^2}{2 X^2}}$$

Comme au voisinage du potentiel explosif le rapport du champ X à la pression p est presque constant, il en résulte que α croît approximativement comme la pression. D'autre part, le coefficient de diffusion est, comme on sait, inversement proportionnel à la pression du gaz.

Ces deux actions tendent à favoriser grandement l'inégale répartition des ions au fur et à mesure que la pression augmente.

(2) BERNHARD. E. T. Z., 20 octobre 1921, t. XLII, p. 1194-1196, 1 000 mots, 8 fig.

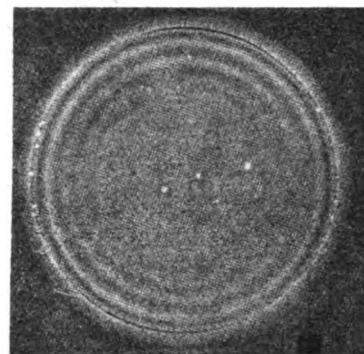
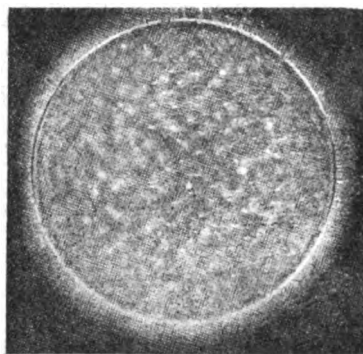
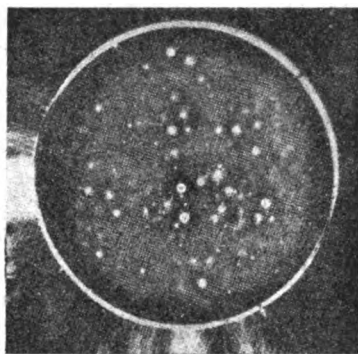


Fig. 4. — Phénomène observé à l'électrode positive. — Fig. 5. Phénomène observé à l'électrode négative.
Fig. 6. — Phénomène observé à l'électrode négative.

La mise en œuvre de la méthode peut comporter quelques variantes : par exemple, lorsqu'il s'agit de rendre apparentes les traces des lignes de force sur la surface extérieure d'un objet, cette surface est recouverte, au préalable, d'une couche sensible qui est ensuite développée et fixée. Dans le même ordre d'idées, on a employé, dans des travaux de recherches

phénomènes électriques qui se produisent avec ces canalisations, notamment dans les traversées de murs, dans les parties reliées par manchons connecteurs, etc.

Bien qu'on ne puisse dire que les lignes apparaissant sur les photographies représentent effectivement les lignes de force du champ, il n'en reste pas moins que leur disposition fournit des indications précieuses au sujet de la position des points dangereux, position, d'ailleurs, dont la détermination peut se faire, à l'aide de cette méthode, plus exactement que par le calcul.

En outre des expériences rentrant dans la classe d'essais indiquée ci-dessus, on a cherché à fixer l'image de champs électriques vus en se plaçant dans la direction des lignes de force. Les figures 4, 5, 6, 7 et 8 reproduisent, avec un certain grossissement, quelques-unes des photographies ainsi

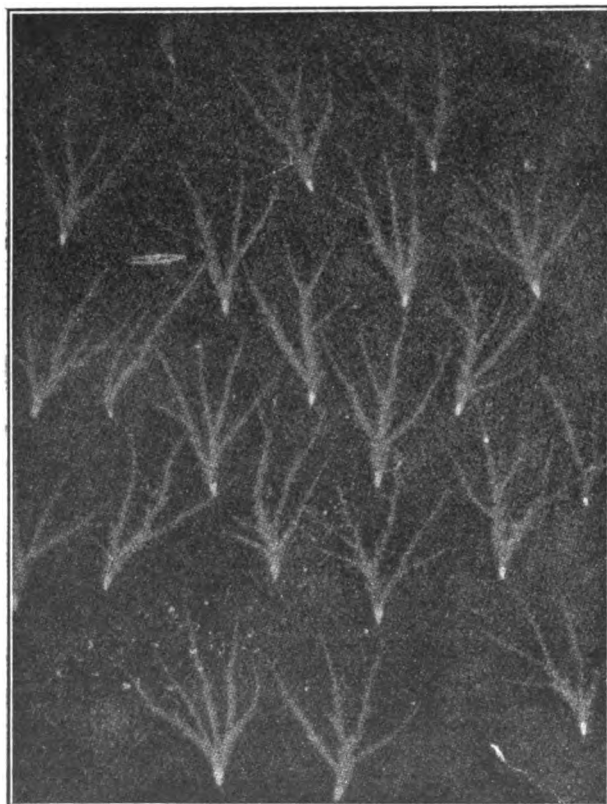


Fig. 7. — Electricité positive (image agrandie).

au sujet du champ environnant les isolateurs, des écrans sensibles de forme appropriée.

Le procédé a été appliqué, en particulier, par l'auteur, aux ateliers Sieverts, à Sundbyberg (Suède) dans le service de fabrication des câbles, en vue de mettre en évidence les

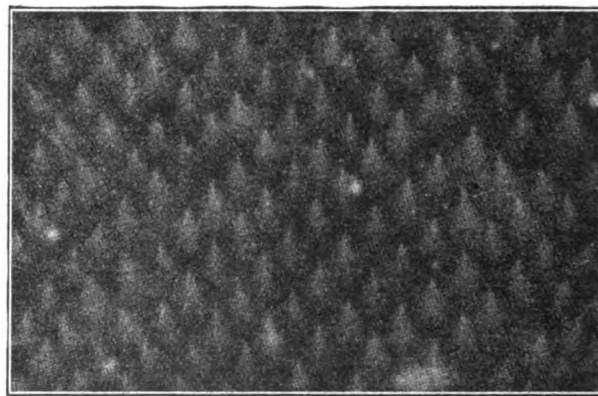


Fig. 8. — Electricité négative (image agrandie).

obtenues dont l'apparence ne laisse pas que de présenter des caractères assez singuliers.

Dans tous les essais effectués jusqu'à présent, il n'a été fait usage que de papiers ou plaques sensibles du type courant ; les différentes marques employées ont donné d'ailleurs des résultats plus ou moins satisfaisants. Comme des perfectionnements sont évidemment possibles dans l'industrie de la fabrication de ces accessoires de la photographie, il est permis d'escompter la production éventuelle de papiers et de plaques plus sensibles à la lumière et susceptibles, par conséquent, de répondre d'une façon plus complète aux exigences de la mise en œuvre plus parfaite du procédé.

L. D.

SECTION INDUSTRIELLE

Le nouveau matériel J. Estrade à la Semaine d'électromotoculture d'Ondes

Avant de nous donner une idée d'ensemble de la Semaine d'Électromotoculture d'Ondes, qui a suivi de près la Semaine internationale de Motoculture du Bourget (R. G. E., 12 novembre 1921, t. X, p. 673-675), l'auteur désire attirer notre attention sur le matériel créé par M. Estrade qui s'est, avec beaucoup de compétence, spécialisé dans les applications de l'électricité à l'agriculture. Il décrit d'abord les perfectionnements apportés au treuil Estrade dont la particularité la plus saillante consiste dans la mobilité de la flèche qui supporte la poulie du câble tracteur et dont l'inclinaison varie avec l'effort au crochet; comme nouveautés, il signale, ensuite, les « poteaux noirs » ou poteaux en bois fortement créosotés qui permettent d'installer, sur une propriété, une ligne de contact permanente, sans isolateurs jusqu'à 500 volts; les prises de courant volantes et, enfin pour l'usage des diverses machines de la ferme, un système de transmission destiné à supprimer les courroies, consistant en galets de coincement qui s'intercalent entre la poulie du moteur et la poulie de la machine à actionner.

La manifestation d'électromotoculture organisée à l'Ecole d'Agriculture d'Ondes (Haute-Garonne) en octobre 1921, — et dont on trouvera prochainement ici un compte rendu — a fourni l'occasion à M. Estrade

de présenter le type définitif de son treuil déjà bien connu et une série d'appareils ou de dispositifs extrêmement intéressants, étudiés pour permettre l'application d'une nouvelle méthode de tarification de l'énergie

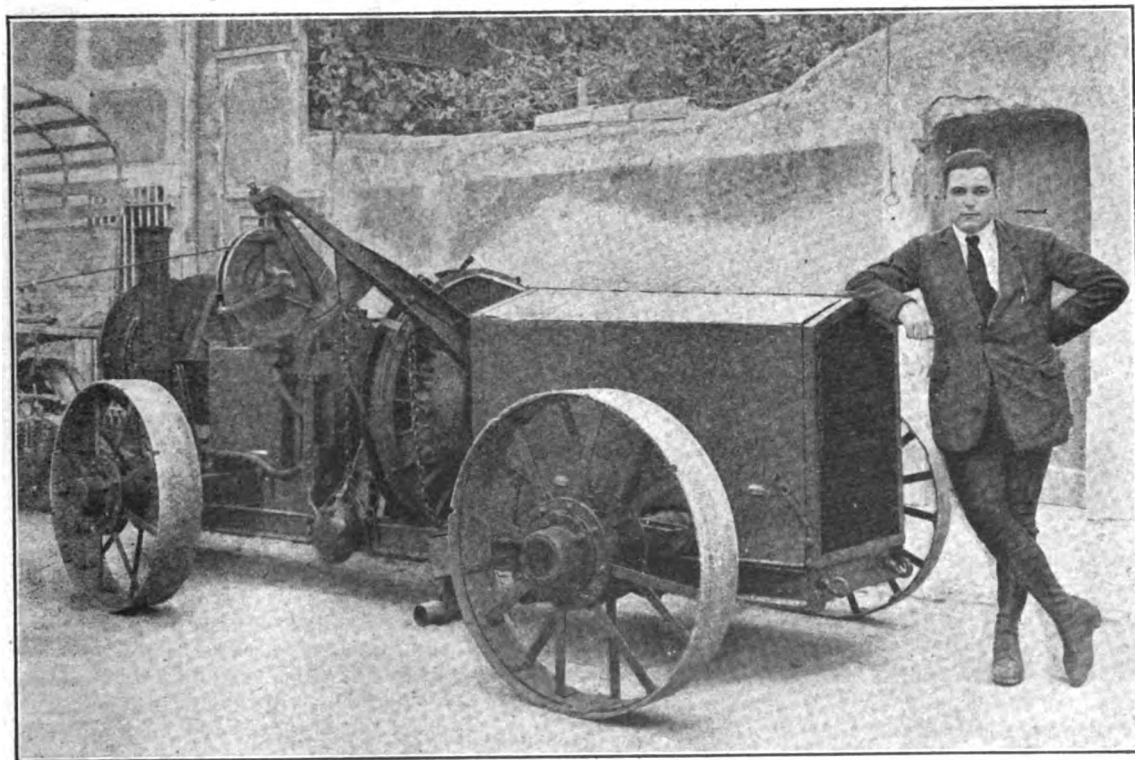


Fig. 1. — Le nouveau treuil de 35 chevaux type 1921. Vue d'ensemble.

agricole dont le but est de conduire à une meilleure utilisation de la puissance installée, méthode très simple qui fera d'ailleurs l'objet d'une étude spéciale.

M. Estrade, avec son infatigable activité, ne s'est pas seulement contenté, en effet, de perfectionner et d'améliorer le treuil très original que j'ai décrit ici, il y a un

peu plus d'un an ⁽¹⁾ ; il s'est également préoccupé d'établir des lignes électriques agricoles économiques, des prises de courant pratiques et sûres, des systèmes de transmission, d'une remarquable simplicité, permettant d'actionner les machines d'intérieur de la ferme soit au moteur, soit à bras. Je vais examiner aujourd'hui les principaux de ces dispositifs, après avoir consacré quelques lignes au nouveau treuil.

Nouveau treuil J. Estrade, type 1921. — Le principe du treuil, que j'ai exposé déjà dans tous ses

détails dans l'article précité, n'a pas changé ; mais alors qu'en 1919 le treuil avait une puissance de 50 ch et pesait 5 500 kg, il descendait déjà en 1920 à 4 500 kg.

Le type 1921 est un peu moins puissant : 35 ch seulement, mais il ne pèse plus que 3 000 kg. C'est un appareil très étudié, dont le fini d'usinage rappelle la mécanique automobile soignée. Comme le montre la figure 1 qui en donne l'aspect général, il diffère assez notablement de ses aînés.

On se souvient que la particularité la plus importante du treuil Estrade consiste dans la mobilité de la poulie

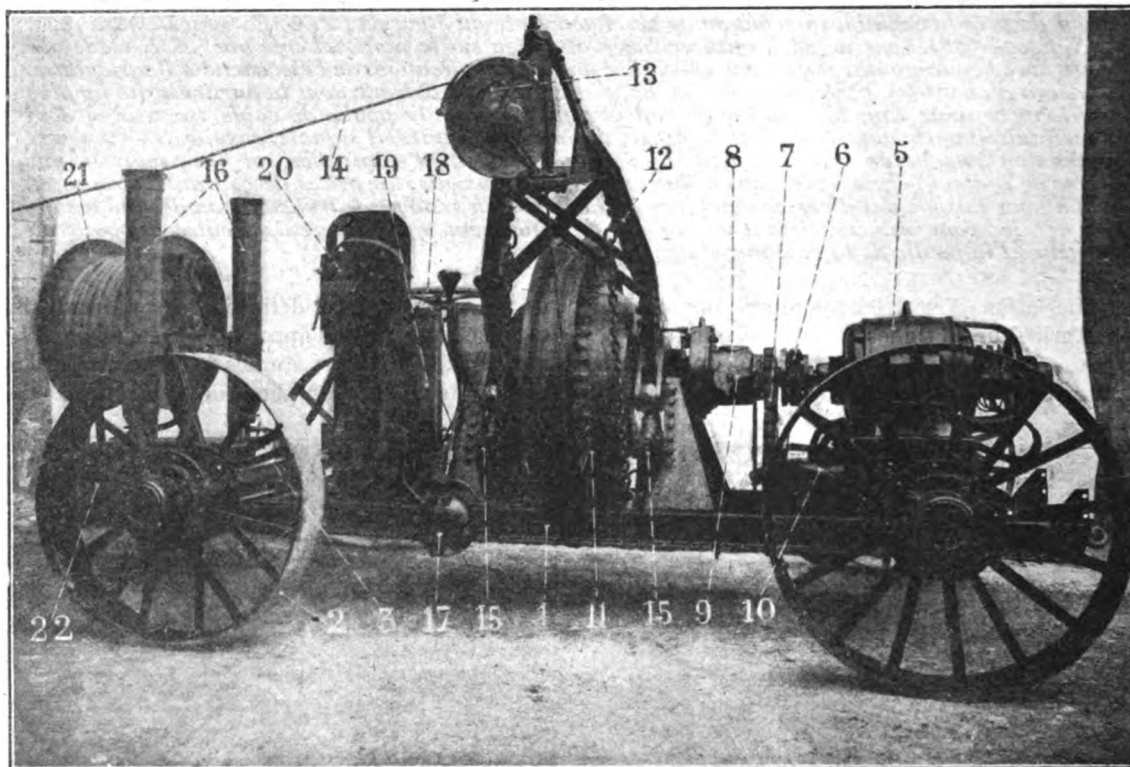


Fig. 2. — Treuil de 35 chevaux type 1921.

Détail des divers éléments : 1, châssis ; 2, roue avant ; 3, essieu avant ; 4, roue arrière ; 5, moteur ; 6, accouplement élastique ; 7, courroie de translation ; 8, carter des embrayages ; 9, commande des embrayages ; 10, carter réducteur de translation ; 11, tambour ; 12, flèche ; 13, poulie ; 14, câble de traction ; 15, dispositif hydro-pneumatique de relevage de la flèche ; 16, réservoir de gaz comprimé du dispositif hydro-pneumatique ; 17, indicateur de traction ; 18, direction ; 19, contrôleur ; 20, disjoncteur ; 21, tambour d'enroulement du câble électrique ; 22, résistance du moteur.

sur laquelle passe le câble de traction à la sortie du tambour 11 (fig. 2), cette poulie 13 étant montée à l'extrémité d'une flèche 12 articulée sur l'axe du tambour et qui s'élève ou s'abaisse au-dessus du sol lorsque la traction diminue ou augmente.

Le mouvement de cette flèche est combiné de telle manière que la résultante de l'effet de traction et du poids du treuil passe toujours par le bord interne des jantes des roues 2 et 4.

La poulie 13 est de grand diamètre et munie d'une gorge très profonde ; sa chappe (fig. 3) pivote autour

d'un axe tangent à la circonférence moyenne du tambour, de sorte que le câble est parfaitement guidé sans frotter sur les bords de la poulie quelle que soit l'orientation du treuil par rapport à la direction du labour.

Les ressorts antagonistes dont étaient munies les flèches des treuils 1919 et 1920 perdaient leur élasticité à l'usage et devaient être souvent remplacés. Aussi dans le treuil 1921 y a-t-on complètement renoncé pour adopter le relevage hydro-pneumatique, qui a fait ses preuves comme récupérateur de recul des canons. Le dispositif comprend un piston que l'abaissement de la flèche enfonce dans un cylindre en comprimant un gaz dans une bouteille appropriée ; une couche de glycérine

⁽¹⁾ R. G. E., 30 octobre 1920, t. viii, p. 614-619.

s'oppose aux fuites. La détente de ce gaz provoque le relevage de la flèche. On a obtenu ainsi un fonctionnement très doux, la flèche, en dehors du rôle principal qui lui est assigné, jouant en même temps celui d'amortisseur. Les chocs provenant des irrégularités de résistance du terrain, des cailloux, des racines, etc., n'ont plus cette brutalité très caractérisée, si préjudiciable aux organes des treuils.

Comme, en outre, la flèche parcourt sa course complète sous une variation d'effort de 4000 kg et que pendant cette course la variation de longueur de la partie

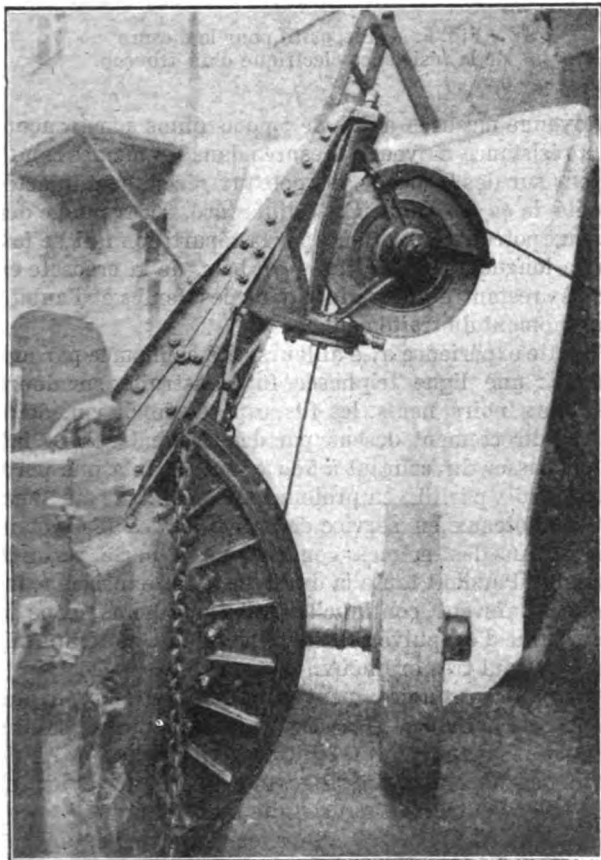


Fig. 3. — Détail de la flèche.

du câble libre est de 0,70 m, on voit qu'il y a de ce fait un nouvel amortissement des brusques tensions ; celles-ci ne se font sentir que lentement et la marche du treuil est remarquablement souple.

Le tambour d'enroulement du câble de traction a son axe horizontal et disposé dans le sens de la longueur du châssis ; il a un grand diamètre, 1,10 m, relativement à sa largeur, 0,13 m, ce qui a permis de supprimer tout mécanisme ou guide d'enroulement.

La réduction de vitesse entre le moteur qui tourne à 1500 t : mn et le tambour se fait au moyen d'engrenages logés à l'intérieur même de celui-ci ; ces engrenages, très soigneusement taillés, sont montés sur des axes munis de roulements à billes, tournant dans un bain

d'huile entre les flasques du tambour, épanouies pour le contenir et formant un carter étanche.

Le moteur électrique de 35 ch absorbe 29 kw en marche normale et fait face à des surcharges doubles de ces chiffres.

Le câble d'acier à 500 m de longueur, 10 mm de diamètre et résiste à un effort de 7 t.

A Ondes on avait installé, en face l'un de l'autre, un treuil 1920 de 50 ch et un treuil 1921 de 35 ch ; la charue était équipée à 2 socs quand elle était tirée par le treuil de 35 ch et à 3 socs quand elle allait vers celui de 50 ch. Le sol argileux était très desséché et présentait une résistance exceptionnelle ; le treuil de 3000 kg exerça parfois des tractions dont les valeurs accusées par l'aiguille d'un dynamomètre allèrent jusqu'à 3500 kg, ce qui démontre nettement sa puissance d'ancrage.

Laquelle des deux puissances : 50 ch ou 35 ch est-elle préférable ? Les agriculteurs qui vinrent à Ondes parurent surtout enthousiasmés par le petit treuil de 35 ch parce que, beaucoup plus léger, il est plus facile à déplacer, moins coûteux, donc plus accessible à la petite et la moyenne propriété.

Les « poteaux noirs » et les lignes agricoles.

— L'un des plus vifs et fréquents reproches que l'on fait au labourage électrique, l'un des inconvénients qui se sont le plus opposés à son développement, résident certainement dans la nécessité d'amener le courant aux treuils soit par un câble souple coûteux et fragile, soit par une ligne sur poteaux installée provisoirement ou à titre définitif.

Il semble que l'expérience doive conduire à limiter au strict minimum l'emploi des câbles souples au profit de la ligne sur poteaux. Mais alors on se trouve encore en face de deux solutions, surtout quand on labore au double treuil : avoir une ligne volante que l'on établit rapidement et qui fait partie du chantier, et disparaissant quand le labour est fait (système préconisé par M. Petit et la Société générale Agricole) ⁽¹⁾, ou bien construire, comme le conseille M. Estrade, des lignes définitives que l'on pourra utiliser ensuite, les labours terminés, pour les autres façons culturales (hersages, moisson et même battage).

Cette seconde solution me paraît nettement préférable, à condition de pouvoir établir les lignes à un prix très bas, de façon à réduire au minimum les immobilisations, déjà importantes par ailleurs, à demander à l'agriculteur. En outre, ces lignes ne doivent exiger qu'un entretien minime ; or, jusqu'ici, la part la plus importante de cet entretien était représentée par le remplacement, tous les dix ans environ, des poteaux en bois. M. Estrade y remédie grâce à ses « poteaux noirs. »

La préparation de ces poteaux est basée sur une longue observation des faits suivants : 1° C'est avec la créosote qu'on est arrivé à la protection la plus efficace

⁽¹⁾ R. G. E., 22 février 1919, t. v, p. 312.

des bois ; 2° le fendillement des poteaux, préalablement à l'injection, et qu'on s'efforçait autrefois d'éviter, permet à la créosote sous pression de pénétrer dans toutes les fibres, jusqu'au cœur du poteau ; 3° le fendillement, provoqué par un violent courant d'air sec et chaud, se produit au cours de la préparation dans toutes les parties du bois susceptibles de s'ouvrir à la longue, de telle façon qu'aucune fente nouvelle ne puisse s'ouvrir plus tard ; 4° le fendillement n'affaiblit pas la résistance mécanique des poteaux ; 5° le poteau étant planté, la créosote injectée en dose massive s'écoule sous l'influence de la chaleur et saturant le sol, autour de la base même, aseptise ce sol et concourt ainsi encore à la bonne conservation du support.

L'excellence du procédé est aujourd'hui démontrée par plus de 28 000 poteaux utilisés par la Société méridionale de Transport sur ses lignes haute tension ; depuis 1904 aucun n'a encore été atteint de pourriture. Un de ceux-ci a été coupé, après dix-sept ans de service, à la hauteur de son encastrement dans le sol ; on distingue nettement sur la photographie qui en a été prise (fig. 4) comment la créosote avait pénétré jus-



Fig. 4. — Photographie d'une coupe de poteau mis en service en 1905 et scié en 1921 à la hauteur de son encastrement dans le sol.

qu'au cœur du bois et comment les parties non fendillées sous l'effet de la préparation préalable ne se sont pas fendues sous les influences atmosphériques au cours des dix-sept années de service. La créosote, qui est insoluble, s'est répartie intégralement dans les fibres de façon qu'aucune partie de la masse ne peut être mouillée intérieurement par la pluie. Pour les mêmes raisons, l'humidité ne ruisselle jamais sans solution de continuité sur la surface extérieure.

Le « poteau noir » est très isolant par lui-même : l'expérience suivante le démontre : des tronçons du poteau ci-dessus (ayant dix-sept ans de service), coupés

par longueurs de 20 cm, ont été immergés dans l'eau pendant sept jours ; puis le courant a été amené sur les deux faces de ces tronçons où le contact a été établi au moyen de cinq longues vis à bois échelonnées du centre à la périphérie (fig. 5). La résistance électrique

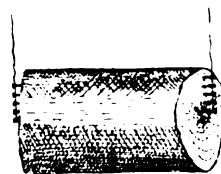


Fig. 5. — Dispositif pour la mesure de la résistance électrique d'un tronçon.

moyenne mesurée a été de 59 000 ohms par tronçon. La résistance moyenne mesurée dans les mêmes conditions sur des tronçons de poteaux récemment injectés a été de 42 000 ohms. Cette différence, à l'avantage des vieux poteaux, s'explique par la répartition qui se fait à la longue, dans les fibres du bois, de la créosote en excès restant emmagasinée dans les fentes et l'aubier au moment du traitement.

Cette expérience a, d'ailleurs, été confirmée par une autre : une ligne triphasée fut construite sur douze poteaux noirs neufs, les fils, espacés de 50 cm, étant fixés directement dessus par des tirefonds. En y faisant passer du courant à 500 v, on constata une perte de 0,066 A par fil ; en prolongeant cette ligne sur deux vieux poteaux en service depuis 1905, les fils y étant fixés dans les mêmes conditions, la perte resta la même. Pendant toute la durée de cette expérience les poteaux furent continuellement maintenus sous la pluie fine d'un pulvérisateur à gros débit, le temps lui-même étant très brumeux.

Les « poteaux noirs » peuvent donc servir d'appui aux lignes à 500 ou 600 v de labourage, sans l'interposition d'aucun isolateur, la perte de courant est d'un ordre de grandeur absolument négligeable ; le prix de revient et les frais d'entretien sont réduits au minimum.

Ces lignes, si l'on travaille avec deux treuils, doivent encadrer le terrain à labourer ; elles doivent être distantes de 500 m au plus et disposées selon l'un des deux schémas suivants : 1° si la ligne de distribution à haute tension longe le champ (la cabine roulante de transformation étant toujours installée dessous), la ligne à 500 v est placée d'abord au-dessous des canalisations à haute tension (fig. 6) et sur les mêmes poteaux, puis suivant une direction à peu près normale. On peut alors travailler soit dans le sens AB, soit dans le sens CD en utilisant alors le câble souple pour le treuil D au fur et à mesure qu'il s'éloigne de la ligne ; 2° si le champ est éloigné de la ligne à haute tension, on encadre toujours le champ, mais l'on prolonge l'une des lignes à 500 v suivant TM (fig. 7) jusqu'à la cabine roulante T.

Avec 1 000 à 1 500 m, en moyenne, de lignes à 500 v, on encadre 25 hectares ; ces lignes sont établies

sur « poteaux noirs » de 7 m, et les fils posés soit sur des poulies en bois paraffinées fixées aux poteaux par des tirefonds, soit même contre les poteaux, directement, comme il a été indiqué plus haut. On calcule la section

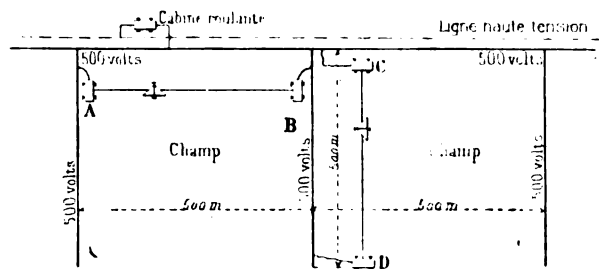


Fig. 6. — Schéma de la disposition des câbles électriques basse tension pour un champ situé près de la ligne haute tension.

à donner à ces fils par la formule suivante dérivée de celle de Kelvin :

$$S = \sqrt{\frac{1,752 r P T c}{0,006 P p t}},$$

dans laquelle : S est la section du conducteur en millimètres carrés; r , la résistance en ohms d'un fil conducteur de 1 mm² de section et 1 km de long; I , l'intensité normale du courant par fil, en ampères; T , la

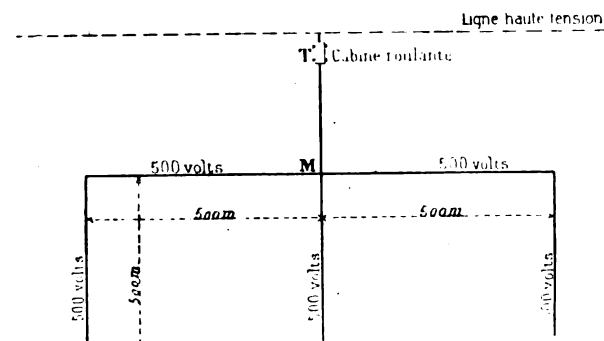


Fig. 7. — Schéma de la disposition des câbles électriques basse tension pour un champ éloigné de la ligne haute tension.

durée annuelle du labour en heures; c , le prix du courant, en francs, par watt-heure; P , le poids en kilogramme d'un fil conducteur de 1 mm² section et 1 km de long; p , le prix d'un kilogramme de fil conducteur en francs; t , le taux de l'intérêt.

M. Estrade précise qu'une telle ligne, ainsi calculée et établie, revient actuellement à 3 800 fr le kilomètre, ce qui représente une immobilisation par hectare de 150 à 230 fr, correspondant à des frais annuels d'environ 20 fr, représentant l'intérêt du capital engagé seulement, rien n'étant à prévoir pour l'amortissement et l'entretien.

Les prises de courant. — Lorsqu'il s'agit de faire une prise de courant volante sur une ligne aérienne à haute tension, et surtout si l'on doit en charger un ouvrier non spécialiste, je continue à penser que la sécurité impose l'usage de dispositifs automatiques ne permettant de faire cette prise que lorsque le courant est coupé, comme ceux que j'ai déjà indiqués⁽¹⁾.

Mais en revanche, pour se brancher sur une ligne à 500 ou 600 v, on peut avoir recours à des systèmes simplifiés, et celui imaginé par M. Estrade est remarquable à ce point de vue. Trois lames minces de fer galvanisé sont vissées sur le poteau et reliées avec chacun des fils de ligne (fig. 8). La perche porte, d'autre

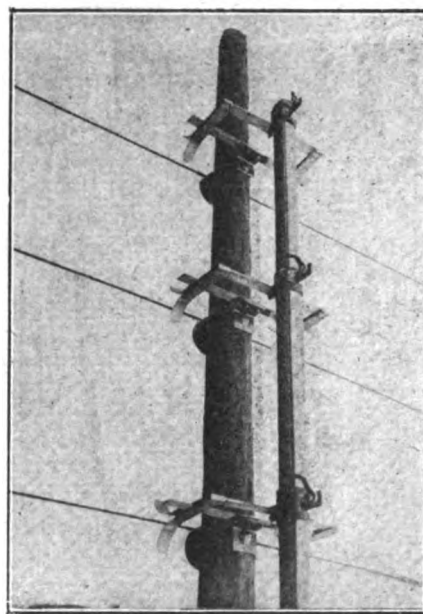


Fig. 8. — Détail des contacts de la prise de courant.

part, à l'une de ses extrémités, trois chapes à ressort reliées à trois fils isolés passant par des rainures pratiquées dans l'intérieur de la perche et aboutissant à la partie femelle d'une prise triphasée vissée à hauteur d'homme de l'extrémité inférieure (fig. 9 et 9 bis). La perche est appuyée sur un socle métallique dont est muni le poteau au ras du sol; l'ouvrier l'y pose, puis la pousse en avant, comme l'indique la figure, pour amener les trois chapes en contact avec les trois lames du poteau. Le câble souple du treuil aboutit à la prise de courant.

Telles sont les nouveautés que la Société d'Electromotoculture présentait à Ondes pour ses chantiers de labourage. Mais elle n'avait pas pour cela négligé les petites machines d'intérieur de la ferme et c'est précisément pour en rendre l'électrification plus facile qu'elle a construit un système fort original de transmission dénommé galets de coincement.

⁽¹⁾ R. G. E., 13 mars 1920, t. VII, p. 364.

Galets de coincement. — L'agriculteur hésite souvent à actionner électriquement un hache-paille, un concasseur, un tarare, etc., pour deux raisons : 1° La plupart de ces machines fonctionnent à allure relativement lente, et les moteurs tournant à 1 000 ou 1 500 t. mn, il faut installer une courroie, parfois même un renvoi démultiplicateur, ce qui exige un ou deux arbres de transmission et prend de la place ; 2° si le courant vient à manquer, on peut marcher à bras en enlevant la courroie ce qui est assez facile ; mais en revanche la remise en place des courroies est assez délicate pour une femme ; en

outre, il y a toujours danger de se faire accrocher.

Les galets de coincement résolvent le problème avec une rare élégance. L'appareil se compose de deux galets (fig. 10) tenus dans une monture en deux parties 8 et 9 coulissant l'une dans l'autre et rappelées par ressorts 10 ; ceux-ci n'ont nullement pour effet de réaliser une pression comme dans les frictions anciennes, mais simplement d'assurer le contact.

Un galet est constitué par un cylindre creux formé par l'empilage de rondelles d'un papier choisi pour sa haute résistance à la compression et son grand coefficient de frottement sur les poulies. Ce cylindre est

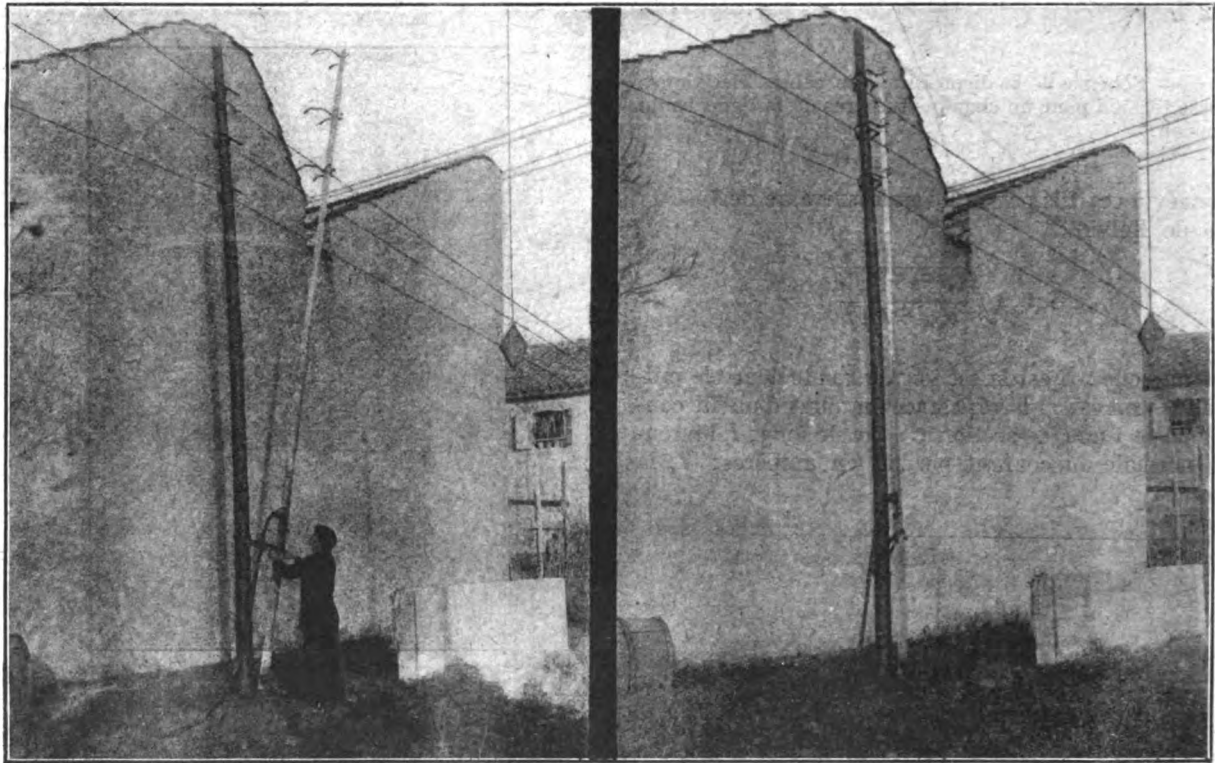


Fig. 9. — Manœuvre de la prise de courant. — Fig. 9 bis. Prise de courant fermée en position de fonctionnement

serré à la presse hydraulique sur un tube d'acier tenu par deux rondelles filetées 6 ; le tube reçoit deux garnitures de bronze emmanchées à force et laissant entre elles une chambre à graisse. Cette disposition rend très doux le roulement sur les axes 6 et 7. Les ressorts tendent à éloigner les deux montures coulissantes, rapprochant ainsi les galets.

La mise en place est extrêmement simple et rapide : on prend la monture à pleine main (fig. 11) et on fait un léger effort pour comprimer les ressorts ; on écarte ainsi les deux galets l'un de l'autre. On peut alors introduire l'appareil entre la poulie du moteur et celle de la machine à actionner ; on abandonne alors la poignée ; les galets viennent s'appliquer contre les poulies et il suffit alors d'abaisser une fourchette (visible sur la

figure 10 en F) portée par un bossage du moteur, pour bloquer latéralement l'équipage.

Lorsque la poulie motrice est mise en marche l'un des galets tend à s'éloigner de la ligne des centres des poulies, tandis que l'autre est entraîné dans leur intervalle et, par réaction, élastique entraîne la poulie réceptrice.

On conçoit, à priori, qu'il y a lieu d'observer certaines conditions ; en particulier le diamètre des galets étant fixe, il faut donner à l'écartement entre les deux poulies, une valeur qui est fonction de leurs diamètres, si l'on veut qu'il y ait coincement.

Soit, en effet, O_1 le centre de la poulie motrice (fig. 12) de rayon R_1 tournant dans le sens indiqué par la flèche 1. Soit O_2 le centre de la poulie réceptrice, de

rayon R_2 tournant dans le sens de la flèche 2. Soit enfin O le centre du galet, de rayon R qui, par rotation

autour de O_1 dans le sens de la flèche 1 se rapprocherait de O_1O_2 et appelons d la distance O_1O_2 .

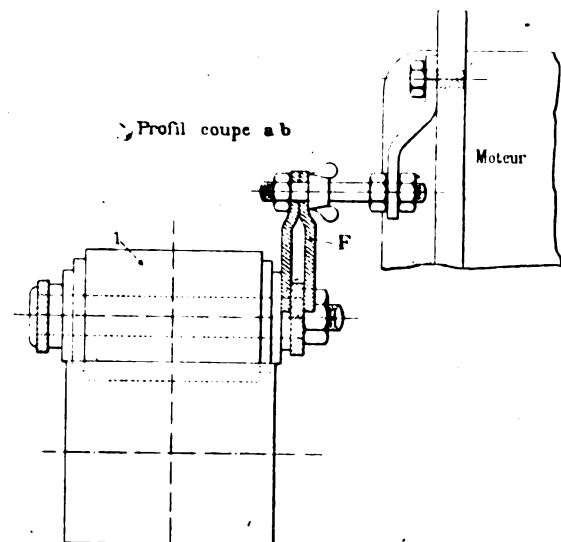
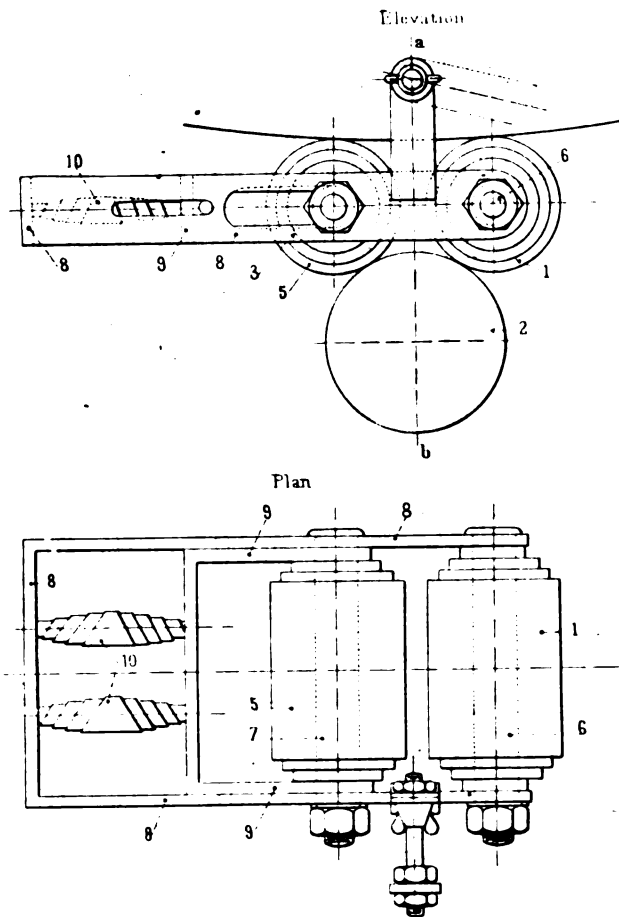


Fig. 10. — Vue en élévation, en plan et en profil d'un galet de coincement.

1 et 5, galets proprement dits; 2, poulie à commander; 6 et 7, axes des galets; 8 et 9, parties coulissantes de la monture; 10, ressorts de rappel de ces parties coulissantes; 3, rondelles filetées maintenant en place les rondelles de papier comprimé constituant le galet. — Profil coupe a b: F, fourchette de blocage de l'équipage.

suffisante pour que la transmission se fasse sans glissement, donc *par coincement*, se ramenait à :

$$\alpha \leq 2\varphi,$$

c'est-à-dire : que les deux tangentes passant par les

Considérons le galet dans une marche en régime continu et uniforme. Il est soumis de la part de la poulie motrice O_1 à un effort de compression normale N_1 dirigée de O_1 vers O et à un effort tangentiel T_1 perpendiculaire à O_1O dans le sens de la flèche 1.

Il est soumis en outre, de la part de la poulie réceptrice O_2 , à un effort de compression normale N_2 dirigé de O_2 vers O et à une réaction tangentielle T_2 perpendiculaire à O_2O et en sens inverse de la flèche 2.

Nous négligerons l'action du ressort dirigé vers la ligne O_1O_2 et, par raison de symétrie, perpendiculaire à cette ligne, puisque cette action peut être nulle. On n'a pas non plus à se préoccuper des actions centripètes auxquelles est soumis le galet, car celles-ci étant homogènes elles s'équilibrent autour de son centre.

Si l'on pose les équations de l'équilibre du galet en prenant comme axe de coordonnées OO_1 et OO_2 , M. Roger Estrade a montré par un calcul très simple que, α étant l'angle des tangentes représentées par les vecteurs T_1 et T_2 et φ l'angle de frottement des surfaces en contact, on trouvait que la condition nécessaire et

Fig. 11. — Photographie montrant la manœuvre d'un galet de coincement.

points de contact du galet avec les poulies doivent faire entre elles un angle au plus égal au double de l'angle de frottement des surfaces en contact.

Cette valeur de α étant bien déterminée, celle de

l'angle O s'en déduit; elle a pour valeur $\pi - \alpha = \pi - 2\varphi$. Le triangle $O_1 O O_2$ est alors bien connu et l'on peut en déduire la distance $d = O_1 O_2$:

$$d^2 = (R_1 + R_2 + 2R)^2 - 4(R_1 + R)(R_2 + R)\sin^2\varphi.$$

L'écartement e entre les deux poulies que l'on cherche sera :

$$e = d - (R_1 + R_2),$$

en remplaçant d par $e + R_1 + R_2$ dans l'équation précédente on trouve finalement :

$$(e + R_1 + R_2)^2 - (R_1 + R_2 + 2R)^2 + 4(R_1 + R)(R_2 + R)\sin^2\varphi = 0,$$

dont la résolution donnera deux valeurs réelles de e (dont

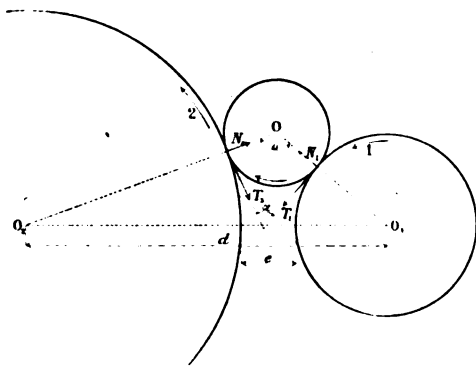


Fig. 12. — Vue schématique montrant l'action du galet de coincement sur le volant d'entraînement.

une seule positive) en fonction de R qui est connu et de R_1 et R_2 . On peut alors établir des tables ou mieux des abaques qui indiqueront immédiatement l'écartement à ménager entre les poulies de rayon R_1 et R_2 lors du premier montage du moteur.

Les galets de coincement sont destinés à remplacer la courroie dans un grand nombre de cas, car ils ont, en plus des avantages déjà signalés, celui de réduire au minimum la pression sur les arbres et paliers, celle-ci étant automatiquement proportionnelle à l'effort à vaincre. Avec la courroie, au contraire, on est obligé de donner, même au repos, une tension suffisante pour n'avoir pas de glissement sous les charges les plus fortes. Enfin, on peut avoir des machines légères (fig. 13), ramassées, faciles à monter sur brouette,

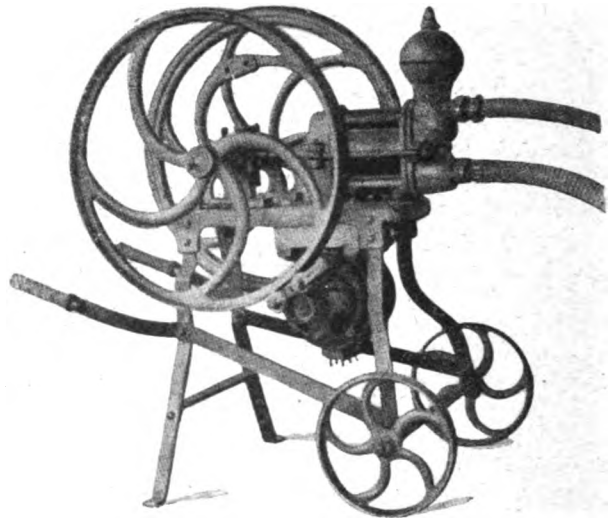


Fig. 13. — Vue du montage d'un galet de coincement sur un appareil agricole.

commodes à remiser, ce qui est appréciable pour les pompes par exemple.

Ach. DELAMARRE.

Au sujet des démarreurs électriques pour moteurs à explosion

La question du démarrage et de l'éclairage des voitures automobiles a donné lieu à la publication dans cette Revue de divers articles et lettres dus à M. le capitaine de Lagarrigue (Eclairage et démarrage électriques dans les voitures automobiles, 4 décembre 1920, t. VIII, p. 816-819; 2 avril 1921, t. IX, p. 449), à M. J. Touchard (idem 15 et 29 janvier 1921, t. IX, p. 81-82 et p. 131), à M. L. Juma (idem 15 janvier 1921, t. IX, p. 82-83), à M. Paul de Loye (Comparaison entre les accumulateurs alcalins et les accumulateurs au plomb employés dans les voitures automobiles 19 février 1921, t. IX, p. 254-255), à M. M. Digeon (Sur l'installation des démarreurs électriques pour moteurs à explosions, 16 juillet 1921, t. X, p. 103-106), enfin, à M. J. Pasquier (27 août 1921, t. X, p. 249-250). En réponse aux remarques faites par M. Pasquier sur l'article de M. M. Digeon, nous recevons de ce dernier ingénieur la lettre ci-dessous.

J'ai lu la lettre de M. J. Pasquier insérée dans le numéro du 27 août de la « R. G. E ».

Je suis parfaitement d'accord avec lui sur la nécessité pour le démarreur d'avoir un couple au démarrage supérieur au maximum dans le tour du couple résis-

tant du moteur au départ, divisé par la démultiplication existant entre ces deux organes et compte tenu du rendement de celle-ci. Il ne peut d'ailleurs y avoir aucune discussion à ce sujet. Cette remarque complète utilement mon précédent article sur cette ques-

tion, paru le 16 juillet, et en répare une omission.

Mais je dois faire remarquer que, si un démarreur est capable d'entraîner le moteur à une centaine de tours par minute sans pouvoir forcer au départ la première compression sans aide, il y a tout lieu de penser qu'il n'est pas installé dans les conditions désirables de bon fonctionnement que j'indiquais dans cette note, de sorte que, si celles-ci sont observées, le fait signalé n'est pas à craindre.

Examinons cette question un peu plus en détail.

Il faut pour cela considérer, non plus seulement comme dans l'article en question, la valeur moyenne du couple résistant du moteur, mais sa valeur instantanée, variable aux différents points du tour.

Ce couple résistant provient des frottements à vaincre, du travail de compression (ou de détente) des divers ressorts, et du travail de compression des gaz (il n'y a pas à parler des efforts d'inertie aux faibles vitesses). Les deux premières causes donnent un couple peu variable, les maxima bien accusés proviennent de la dernière. Ces simples observations permettent de dire que le rapport du couple maximum au couple moyen sera d'autant plus grand : que le nombre de cylindres sera plus petit ; que la compression sera plus forte ; que les frottements seront plus faibles,

On peut donc déjà se rendre compte que la nécessité d'aider le moteur à franchir la première compression s'observera plutôt sur un moteur, non seulement à forte compression, mais encore à un ou deux cylindres seulement au lieu des quatre ou six, et quelquefois plus, que comportent les moteurs d'automobile, exception faite de quelques types de faible puissance ; elle s'observera également plus facilement si la troisième condition se trouve réalisée ; or, les frottements sont notablement diminués par une bonne lubrification ; huile bien fluide, chaude, bien répartie. Mais si ce fait se produit en pareil cas, il est notable que le démarreur sera tout à fait incapable de lancer le moteur à froid.

Reprenons maintenant la figure 3 de l'article précité, reproduite ici en figure 1, et observons, en particulier, les caractéristiques couple-vitesse (I) et puissance-vitesse (II), du démarreur, prises dans les conditions d'emploi.

On a vu que les points de fonctionnement à choisir sont sur l'arc PN⁽¹⁾ de la courbe II, auquel correspond l'arc p n (fig. 1, ci-jointe) de la courbe I. Si cette condition a été remplie, la transformée de la caractéristique couple-vitesse du moteur coupera (I) entre p et n ; son ordonnée à l'origine représente à une échelle convenable, tenant compte de la démultiplication et de son rendement, le couple moyen au démarrage du moteur. Cette ordonnée sera inférieure à p' p.

Si, d'autre part, le démarreur est incapable de forcer

(1) Je rappelle que la droite MN a pour ordonnée la puissance nécessaire pour entraîner à 100 t : mn le moteur, celui-ci étant supposé dans les conditions de démarrage les moins favorables : moteur froid, gommé, etc.

la première compression, c'est que son couple résistant maximum est supérieur au couple au démarrage du démarreur ; son point représentatif est au-dessus de d. Dans de pareilles hypothèses, le rapport du maximum à la valeur moyenne du couple résistant du moteur serait supérieur à $\frac{Od}{p'p}$. Ce rapport est de 2,8 dans le cas de la figure, et ce chiffre n'a rien d'exagéré. Il n'en est pas ainsi pour les moteurs d'automobile.

Prenons pour terminer le problème différemment,

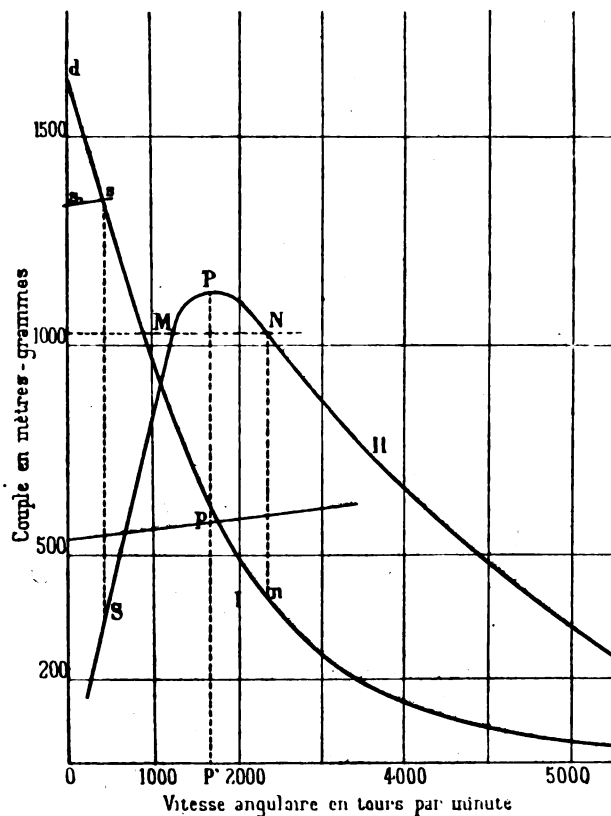


Fig. 1.

et cherchons les conditions à réaliser pour observer le fait signalé. Le point représentatif du couple résistant maximum du moteur sera au plus bas en d ; le point représentatif du couple moyen sera de même au plus bas en s, tel que le rapport de os₁ et de od soit égal au rapport de la valeur moyenne à la valeur maximum de ce couple. La transformée de la caractéristique du moteur donnera à son intersection s avec la courbe (I) le point de fonctionnement auquel correspond S sur (II). On voit tout de suite que l'on se trouve dans le cas d'un démarreur très large, mal utilisé, monté avec une démultiplication insuffisante.

En fait, je peux dire que j'ai observé bien des fois des installations, même avec démultiplication insuffisante, où, à l'inverse du cas signalé par M. Pasquier, le démarreur décollait le moteur et l'entraînait, mais à

une vitesse insuffisante pour le lancer; cette vitesse était d'ailleurs irrégulière dans le tour.

La puissance maximum que peut fournir un démarreur, alimenté par une batterie convenable, est donc plus intéressant à considérer que son couple au démar-

rage; comme je l'ai dit bien des fois, pour lancer un moteur, il faut, non un couple, mais une puissance.

M. DIGBON,
Ancien élève de l'École Polytechnique,
Ingénieur E. S. E.

Revue, analyses et informations

Moto-pompes pour usages domestiques et industrielles ⁽¹⁾.

Dans les hôtels, les villas, les fermes, les écoles, les fabriques, etc., il est très commode et même indispensable d'avoir de l'eau sous pression à tous les étages. Quand ces établissements sont construits dans des villes où il n'existe pas de distribution d'eau, l'emploi d'une pompe s'impose.

La maison Brown, Boveri, en collaboration avec la Société anonyme Sulzer frères a établi un type de moto-pompes électriques particulièrement intéressant.

DESCRIPTION. — La pompe et le moteur qui l'entraîne sont construits de façon à ne former qu'une seule et unique machine (fig. 1). Sur l'un des flasques-paliers du moteur est

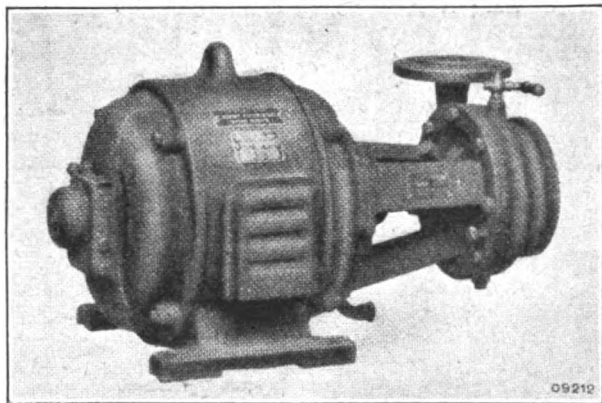


Fig. 1. — Moto-pompe Brown-Boveri-Sulzer.

montée une pièce intermédiaire à trois bras qui supporte la monture de la pompe.

La roue de la pompe centrifuge est calée en porte à faux sur l'arbre prolongé du moteur électrique. Un dispositif spécial permet de compenser la poussée axiale de la pompe.

La construction de la machine est telle que la bride de refoulement de la pompe peut être amenée dans la direction la plus propre au montage de la conduite. La bride d'aspiration centrale peut être facilement reliée à la conduite d'aspiration par un joint parfaitement étanche supprimant tout accès d'air dans la conduite.

La boîte d'étanchéité, placée du côté de la commande est réunie à un court palier de guidage qui, dans le cas d'alimentation en eau pure, est simplement lubrifié par cette eau.

Si l'eau est impure, le palier de guidage est lubrifié à la graisse consistante au moyen d'un Stauffer.

Les pompes à un seul étage sont construites pour des hauteurs de refoulement allant jusqu'à 70 m et des vitesses de rotation de 2 800 t/min. L'encombrement du groupe est très faible, le débit peut varier suivant le type de 0,3 à 6 litres par seconde.

PERTES DE CHARGE DANS LES CONDUITES D'EAU. — Soient H_1 , H_2 , les hauteurs manométriques et Q_1 , Q_2 , les débits d'une pompe tournant aux vitesses n_1 et n_2 ; on a les relations

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

et

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

On peut en déduire facilement les courbes caractéristiques de la pompe connaissant quatre ou cinq points correspondant à une vitesse déterminée.

La hauteur manométrique à surmonter comprend : 1° la différence de niveau mesurée verticalement entre le niveau d'eau le plus bas à l'aspiration et le niveau le plus haut jusqu'auquel l'eau est refoulée; 2° les pertes de charge, en mètres d'eau, produites par frottement et remous dans les canalisations et les organes traversés par l'eau.

Les pertes de charge sont directement proportionnelles à la longueur de la conduite et au carré de la vitesse d'écoulement et, inversement proportionnelles au diamètre de la conduite.

Si l est la longueur de la conduite en mètres, d son diamètre intérieur, v la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau en mètres par seconde, g l'accélération de la pesanteur en mètres par seconde par seconde, λ_r le coefficient de frottement, la perte de charge exprimée en mètres d'eau est donnée alors par

$$h_r = \lambda_r \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

On devra également compter les coudes ou obstacles comme équivalents à 10 m de tuyau et les soupapes et clapets de retenue à 20 m de tuyau; pour plus de sécurité, il est bon de majorer de 20 pour 100 la valeur calculée de la perte de charge. En ajoutant à la perte de charge la différence des niveaux d'eau, on a la hauteur manométrique de refoulement qui permet de déterminer le type de pompe à choisir.

LIEU D'INSTALLATION DE LA POMPE. — On doit installer la pompe de telle façon que la hauteur d'aspiration manomé-

(1) Revue B. B. C., février-mars 1921, 8^e année, p. 36-43, 4000 mots, 11 fig.

trique ne dépasse pas 6 m. A l'extrémité inférieure de la conduite d'aspiration, on placera une soupape de retenue à laquelle on ajoutera une crépine en cas d'eau impure. Le réglage du débit se fait au moyen d'une vanne de réglage dans la conduite de refoulement.

Lorsque la pompe débite des liquides chauds, ceux-ci doivent être amenés sous pression.

La commande de la pompe peut se faire par moteur courant continu ou à courant alternatif.

MOTEURS A COURANT ALTERNATIF. — Les moteurs monophasés ne peuvent être utilisés pour la commande des pompes à cause de leurs mauvaises conditions de démarrage : seuls les moteurs diphasés ou triphasés pourront être employés, ils sont bobinés pour des tensions allant jusqu'à 550 v. Quand la puissance du moteur ne dépasse pas 4 ch, le rotor est en court-circuit ; pour des puissances plus élevées il est bobiné.

MOTEURS A COURANT CONTINU. — Les moteurs à courant continu d'entraînement des pompes sont construits pour des

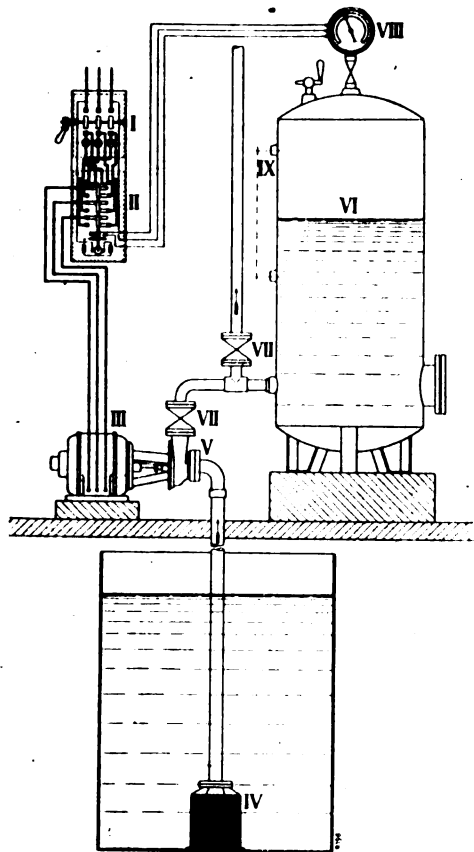


Fig. 2. — Schéma d'une installation à fonctionnement automatique.

I, interrupteur tripolaire ; II, disjoncteur tripolaire à distance ; III, moteur triphasé à induit en court-circuit ; IV, crépine avec soupape de pied ; V, pompe centrifuge ; VI, réservoir régulateur à air ; VII, vanne de réglage ; VIII, manomètre à contact ; IX, indicateur de niveau à tube de verre.

tensions allant de 110 à 500 v et une vitesse de rotation de 2 800 t. mn.

INSTALLATIONS AUTOMATIQUES. — La commande électrique se prête particulièrement bien au service automatique.

Le système automatique Brown-Boveri-Sulzer présente des particularités intéressantes (fig. 2) ; il comporte un réservoir régulateur à air comprimé qui est inséré dans la conduite d'eau et qui est muni d'un manomètre à contacts. Ce réservoir doit être installé de préférence au rez-de-chaussée, à côté de la pompe.

Si la pompe est en marche, l'air contenu dans le réservoir est comprimé par l'eau, l'aiguille du manomètre monte. Quand elle est arrivée à une position fixée à l'avance qui correspond à la pression maximum désirée, l'aiguille ferme le circuit du relais de déclenchement du disjoncteur à distance et le moteur s'arrête. Quand on ouvre un robinet pour prendre de l'eau, la pression de l'air baisse, lorsqu'elle a diminué de 0,5 à 1 kg/cm², l'aiguille du manomètre à contacts ferme le circuit d'enclenchement du disjoncteur et le moteur se remet en route.

H. C.

La traction monophasée en Suisse (1).

Dans cet article, M. Huber, ingénieur en chef de l'électrification des chemins de fer suisses, donne successivement un état de la situation actuelle au début de 1921, un historique de la traction monophasée en Suisse, une description générale des installations les plus importantes de la traction monophasée en Suisse au début de 1921, les résultats d'exploitation des diverses lignes et des conclusions.

INTRODUCTION. — Au début de 1921, la Suisse comptait, sans les tramways urbains, 1 803 km de lignes de chemins de fer exploitées à l'électricité dont 1 128 km de lignes locales ayant le caractère d'un service de tramway à faible trafic. Les 675 km restants comprennent 33 km de lignes équipées en courant continu, 132 km en courant triphasé et 510 km en courant monophasé. Les 33 km de courant continu concernent la ligne Fribourg-Morat-Auet et les 132 km triphasés, les lignes Berthoud-Thoune et Langnau-Iselle-Sion. De cette dernière, seule la section Iselle-Brigue (22 km en tunnel) restera équipée en courant triphasé. La section Brigue-Sion n'a été exploitée en triphasé pendant la guerre que pour utiliser l'énergie de la Centrale de Massaboden qui marchait presque à vide par suite de la suppression du trafic international. Elle sera équipée prochainement en monophasé. L'auteur rappelle alors l'historique de la traction monophasée en Suisse. C'est en 1910 qu'à la suite des essais faits par les ateliers (Oerlikon sur la ligne Seebach-Wettingen, la Compagnie des Alpes bernoises décida d'équiper la ligne du Lötschberg en courant monophasé. Le tronçon Spiez-Frutigen (14 km) fut terminé en 1913, puis la ligne entière de Spiez à Brigue. En 1920, on équipa le tronçon de Spiez à Interlaken et Boenigen, et on entreprit 90 km de lignes nouvelles dans la région. D'autre part, la compagnie des chemins de fer rhétiques commençait en 1910 l'équipement de ses lignes de l'Engadine (62 km), qui fut mise en exploitation en 1913. En 1919, un second lot de 76 km était équipé, et en 1921 l'équipement des 56 autres kilomètres était terminé portant la longueur exploitée à 194 km. On achève actuellement d'équiper les 83 km res-

(1) Exposé n° 1 de la question de la traction électrique (article VIII du questionnaire du neuvième congrès de l'Association internationale des chemins de fer ; M. E. HUBER. *Bulletin de l'Association internationale des Chemins de fer*, juillet 1921, t. III, p. 797-838, 15 000 mots, 2 fig., 5 tabl.

tants de ce réseau. Quant aux chemins de fer fédéraux, ils décidèrent en 1913 l'électrification du tronçon Erstfeld-Bellinzona (110 km) de la ligne du Gothard. Les travaux furent suspendus jusqu'en 1916, époque à laquelle on mit en chantier l'usine de Ritom. En 1917, on décida d'équiper d'urgence la ligne Berne-Thoune-Scherzlingen (32 km). Ce tronçon servit d'ailleurs de ligne d'essai pour les expériences sur les perturbations dans les lignes à faible courant. En septembre 1920, les locomotives électriques passaient le tunnel du Gothard et en novembre commençait l'exploitation régulière du tronçon Erstfeld-Biasca (90 km), tandis que les travaux étaient poussés jusqu'à Chiasso (75 km vers le sud) et jusqu'à Lucerne et Zurich (140 km vers le nord). La ligne de Lucerne à Chiasso sera vraisemblablement terminée au début de 1922; à ce moment, l'usine d'Amsteg pourra être mise en service. En 1920, on a commencé également la construction de l'usine de Barberine pour l'électrification du tronçon Sion-Lausanne (92 km). On continuera par les lignes Lucerne-Bâle et Lausanne-Valloire. Une carte d'ensemble résume l'état actuel des réseaux électrifiés et un tableau donne la description générale des installations les plus importantes de la traction électrique monophasée en Suisse au début de 1921 : ce tableau très complet donne tous les renseignements désirables sur les caractéristiques des lignes électrifiées, sur l'équipement de ces lignes, sur le matériel roulant. Il comprend 26 pages de texte et constitue un ensemble absolument complet de tous les renseignements relatifs à l'électrification des différentes lignes.

RÉSULTATS D'EXPLOITATION. — Des tableaux résument les principaux résultats d'exploitation. La consommation moyenne annuelle d'énergie en watts-heure par tonne-kilomètre est la suivante : 51 pour les chemins de fer des Alpes bernoises ; 50,7 pour les chemins de fer rhétiques ; 48 pour les chemins de fer fédéraux sur la ligne Erstfeld-Biasca. Les nombres de tonnes-kilomètre en 1920 étaient respectivement de 233 millions, 24 millions et 106 millions. Il y a une différence sensible de consommation entre les six mois d'hiver et les six mois d'été, les chiffres moyens étant les suivants : 53,5 w-h en hiver et 48,5 w-h en été pour les Alpes bernoises ; 58 w-h en hiver et 47 w-h en été pour les chemins de fer rhétiques, par suite des chutes de neige et aussi du chauffage électrique des trains. Il faut remarquer que ces chiffres ne s'appliquent qu'à des lignes de montagne et que sur le tronçon Berne-Scherzlingen, par exemple, la consommation moyenne tombe à 35 w-h par tonne-kilomètre à la sous-station de Spiez. Les chiffres précédents s'entendaient à la sortie des centrales génératrices. On sait l'importance capitale du facteur de charge en traction électrique, ce facteur diminue rapidement avec l'accroissement du trafic journalier. De très nombreuses expériences faites sur les différents réseaux suisses électrifiés ont permis de constater les variations moyennes suivantes :

| Trafic journalier en tonnes-kilomètre : | | | | |
|-----------------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 200 000 | 500 000 | 1 000 000 | 1 500 000 | 2 000 000 |
| Facteur de charge moyen : | | | | |
| 5,2 | 4 | 3,2 | 2,8 | 2,1 |

Un chapitre particulièrement intéressant des dépenses d'exploitation est celui des frais réels d'entretien des locomotives. Ces frais ont été en moyenne de 17 pour 100 moins élevés que les frais d'entretien des locomotives à vapeur

pour les chemins de fer des Alpes bernoises. Pour les chemins de fer rhétiques, l'économie moyenne a été de 27 pour 100. Voici les chiffres en centimes par locomotive et par kilomètre

| Années. | 1915 | 1916 | 1917 | 1918 | 1919 |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Chemins de fer des Alpes Bernoises | 15,2 | 23,6 | 30 | 46,8 | 61,5 |
| Chemins de fer Rhétiques..... | 10,7 | 13,7 | 21,9 | 22,2 | 36,0 |

Des essais faits sur les lignes Berne-Thoune et Erstfeld-Biasca, il résulte que les perturbations dans les lignes voisines à courant faible peuvent être supprimées soit à l'aide du système à trois fils avec auto-transformateurs, soit à l'aide de transformateurs-suceurs avec fil de retour et fil de contre-tension. Dans les deux cas, le téléphone et le télégraphe peuvent fonctionner sans dérangement à 5 m de l'axe de la voie si les fils téléphoniques sont croisés tous les 200 m. L'emploi de câbles pour les canalisations à faible courant rend, d'ailleurs, toutes ces mesures de protection superflues et les câbles peuvent être placés le long de la voie. L'article se termine par des conclusions qui résument l'état de la question de l'électrification des chemins de fer suisses et par une liste de publications parues au sujet de la traction monophasée en Suisse.

J. C.

Moteurs à collecteur à vitesse variable ⁽¹⁾.

La théorie de ces moteurs fut exposée dans les numéros de février 1916 et septembre 1921 de « General Electric Review ». Les moteurs polyphasés permettent une augmentation du nombre des phases au rotor, ce qui a l'avantage d'améliorer la commutation et de relever le facteur de puissance. Le moteur décrit a un stator semblable à celui d'un moteur asynchrone ordinaire, un rotor de machine à courant continu et un transformateur de rotor constitué par un transformateur série dont le primaire est en série avec le stator, tandis que le secondaire est relié aux bobines ; ce transformateur, outre qu'il abaisse la tension au collecteur, limite la vitesse à vide par sa facilité à se saturer. L'auteur produit des courbes caractéristiques de moteurs de construction normale, de 5 à 40 ch. Aux très basses vitesses, loin du synchronisme, le couple disponible décroît et, dans la marche à couple constant il faut prévoir un dispositif à vitesse minimum protégeant le moteur contre le décrochage. Pour les pompes centrifuges, ventilateurs, etc., où le couple décroît avec la vitesse, on obtient une marche stable à toutes les vitesses. L'auteur examine ensuite les conditions au démarrage (couple, intensité), le rendement et le facteur de puissance, en prenant pour exemple des moteurs existants. L'appareillage consiste simplement en un interrupteur sur le stator et en un dispositif simple de décalage des balais. Pour les moteurs de 5 à 10 ch tels que ceux usités dans l'industrie textile, et nécessitant un couple constant pour des vitesses allant de 3 à 1, on emploie souvent un contrôle semi-automatique ; pour les moteurs de tirage forcé, de pompes d'alimentation des chaudières, etc., on peut contrôler au moyen de régulateurs à pression de vapeur ou à niveau d'eau. Des photographies représentent ces divers dispositifs ; dans une seconde partie, l'auteur traite, selon un programme identique, le cas des moteurs monophasés.

P. V.

(1) R. A. JONES, *General Electric Review*, novembre 1921, t. XXIV, p. 921-934, 5 000 mots, 38 fig.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revue, analyses et informations

Le Comptoir central d'Achats Industriels
pour les Régions envahies.

Ceux de nos lecteurs possédant, avant-guerre, des établissements industriels dans les régions qui furent pendant quatre longues années sous la domination allemande savent combien sont grands les services rendus à la réorganisation de ces régions par le Comptoir central d'Achats créé dès 1914 en vue de préparer cette réorganisation. Mais il en est d'autres qui, jusqu'ici, n'ont pu se rendre compte de l'activité dépensée et des résultats obtenus par cet organisme. Il nous a paru, dès lors, utile de reproduire ci-dessous la note qu'a rédigée M. E. Gruner, au nom du Comité du Commerce de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale sous le titre : « Cinq années de fonctionnement du Comptoir d'Achats industriels pour les Régions envahies » ⁽¹⁾, note qui a été publiée dans le « Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale », novembre 1921, t. CXXXIII, p. 1 199-1 203.

Dans toutes les parties des dix départements qu'ils ont occupés, ne fût-ce que pendant une courte durée, les Allemands ont intentionnellement et systématiquement détruit toutes les installations industrielles. Ils ont voulu ruiner à long terme la France et la mettre dans l'impossibilité de se relever avant longtemps.

L'héroïque persévérance de nos soldats guidés par des chefs éminents et secondés par des alliés dont le concours s'est affirmé avec autant plus de force que les visées impérialistes de l'ennemi se précisaient plus brutalement sur terre et sur mer, nous a permis de réoccuper nos régions envahies.

Du fait d'une occupation ininterrompue de quatre années pour la plus grande partie de la région industrielle, et malgré le superbe élan qui, en quelques semaines, en automne 1918, a porté nos troupes victorieuses des bords de la Marne jusqu'aux frontières, nous n'avons retrouvé que ruines et désolation dans ces régions où les industries les plus diverses contribuaient à l'envi à la prospérité de la France entière.

Dès longtemps, on savait que, si les murs des manufactures modèles de Roubaix et Tourcoing, de Caudry et de Sedan, de Lille et de Douai subsistaient encore, toutes les matières premières avaient été enlevées et dirigées sur l'Allemagne, tout le menu outillage dispersé et détruit : que, parmi les métiers et les machines, les uns avaient été démontés et envoyés précieusement en Allemagne dès qu'un concurrent les avait jugés utilisables, que les autres, d'un type plus ancien ou moins intéressant, avaient été brisés et refondus pour en faire des obus.

Longtemps on s'était bercé de l'espoir de retrouver utili-

sable, tout au moins le matériel qui avait été maintenu en activité pendant tout le cours de l'occupation : il suffit, au dernier moment, de quelques kilogrammes de dynamite ou de quelques obus rationnellement placés, pour transformer en ferraille, moteurs électriques et à vapeur, machines soufflantes de hauts fourneaux ou de ventilateurs, machines motrices des laminoirs, chevalements des mines et vastes charpentes métalliques.

Le désastre a été beaucoup plus étendu que les plus pessimistes ne s'étaient permis de le craindre ; mais dès longtemps, les plus énergiques des industriels réfugiés loin des lignes ennemies s'étaient ingénies à prévoir les mesures à prendre en vue d'une remise en état aussi rapide et complète que possible des industries sinistrées.

Déjà le 12 mai 1915, la Chambre de Commerce de Paris émettait l'avis que l'État devait se préoccuper de fournir aux sinistrés les matières premières, l'outillage et les machines *plus utiles qu'une indemnité en argent* pour assurer la reprise immédiate du travail. Affirmée à nouveau, à peu de jours de là (19 juin 1915), par M. Delattre, que nous retrouverons peu après, et sans répit ni repos, à la tête de l'Association centrale pour la Reprise de l'Activité industrielle dans les Régions envahies ⁽¹⁾ et de son organe actif, le Comptoir central d'Achats, cette idée prenait corps le 8 septembre 1915, dans une réunion nombreuse d'industriels des régions envahies, que présidait M. Charles Laurent, alors président de la Thomson et maintenant ambassadeur à Berlin, où il défend, avec sa haute compétence industrielle et financière, les intérêts supérieurs de la France.

Toujours prête à justifier son titre et à mettre son autorité et sa compétence au service de l'industrie nationale, la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale fit, au commencement de 1916, d'actives démarches pour attirer l'attention des principaux ministres et hommes politiques sur la nécessité absolue qu'il y avait à apporter leur concours moral et financier à l'association centrale qui venait de se constituer et qui se proposait de travailler à la concentration d'outillage et de stocks de matériaux et matières premières, indispensables pour remplacer ceux qui avaient été enlevés ou détruits par l'envahisseur, comme aussi à la conclusion de toutes commandes de matériel spécialisé et au contrôle de leur fabrication.

Un service technique important fut, dès l'origine, constitué pour l'étude du matériel dont les commandes lui étaient confiées et pour la surveillance et la réception en usine de ce matériel.

Dans un très juste sentiment de la nécessité d'utiliser tous les concours et de réaliser la plus large décentralisation possible, le comptoir n'hésita pas à recourir à l'appui des bureaux techniques que certaines industries organisaient elles-mêmes. C'est ainsi que les houillères constituèrent un

(1) Siège social, 40, rue du Collisée, Paris (8*).

(1) Siège social, 40, rue du Collisée, Paris (8*).

important bureau d'études, avec service de réception en usine, qui a rendu les plus grands services.

Les appels adressés au Gouvernement ne furent entendus que tardivement; et le Parlement, sur rapport de M. le député Louis Dubois, ne se décida que le 6 août 1917 à voter un premier crédit de 250 millions de francs qui put permettre à l'Association centrale de commencer ses opérations financières, qu'elle préparait depuis plus de dix-huit mois, puisqu'elle s'était constituée le 22 novembre 1915.

Depuis lors, édifié sur la compétence des hommes que les industriels sinistrés avaient appelés à la tête du Conseil de l'Association centrale, le Parlement, par des lois successives, a mis à sa disposition 7650 millions de francs, que l'Association a gérés et utilisés avec une si complète connaissance des affaires et une telle prudence qu'au cours de 1920, le Ministère des Régions libérées n'a pu mieux faire que de lui confier la liquidation des 160 stations-magasins, dont la gestion inexpérimentée, pour ne pas dire plus, avait soulevé au Parlement et dans le pays de justes réclamations.

Depuis lors, par son seul personnel substitué presque entièrement à l'ancien personnel des stations-magasins, le Comptoir central d'Achats industriels a poursuivi à raison de 15 à 20 millions de francs par mois, la liquidation des 200 ou 250 millions de francs de matériel et de marchandises de toute nature accumulés sur tant de point des régions dévastées.

Cette liquidation n'est qu'un détail, qu'un ultime service, à joindre à tous ceux qu'a rendus, sous l'habile et prudente direction de M. Delattre, ce vaste organisme qui a rationnellement utilisé les 7,5 milliards de crédit dont l'Etat lui a confié peu à peu la gestion.

Avec le concours des services de restitution organisés à Wiesbaden, le Comptoir a pris une large part dans les efforts, souvent couronnés de succès pour la récupération du matériel industriel enlevé aux établissements français et réinstallé dans les usines des concurrents allemands, charmés d'avoir pu compléter et rajeunir leur matériel aux dépens de nos compatriotes.

Pour assurer le contrôle des opérations prévues par la loi qui ouvrit le premier crédit d'engagement de 250 millions et de toutes celles résultant des crédits successivement ouverts entre 1917 et 1920, le Ministère du Commerce constitua un *Office de Reconstitution industrielle des Départements victimes de l'Invasion*, composé par moitié de fonctionnaires des divers ministères et par moitié d'industriels qualifiés (1) et appela à sa présidence l'éminent président de la Compagnie des Chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, M. Dervillé, qui, dès avant 1900, avait donné les preuves de ses capacités comme président de la Chambre de Commerce de Paris et comme directeur à l'Exposition universelle (2).

Marchant en parfait accord, le Comptoir central d'Achats et l'Office de Reconstitution industrielle, qui avait pour mandat de contrôler à tout instant les opérations du Comptoir, ces deux organismes ont eu, de plus en plus, comme objectif, au fur et à mesure que l'industrie française reprenait sa liberté de fabrication par suite de la suppression des fournitures pour la guerre, de trouver le placement en France de parties de plus en plus importantes des commandes reçues des industriels. Si, au cours de 1918, et dans

les premiers mois de 1919, beaucoup des commandes de matériel textile, électrique ou minier durent être placées aux Etats-Unis et en Angleterre, il n'en fut plus de même dès la fin de 1919 et en 1920, et, comme le montre le tableau ci-joint, à la fin de 1920, près de la moitié des commandes (2259 400 000 fr sur 4734 700 000 fr) avaient été placées en France; et, dans la seconde partie de 1920 et en 1921, l'Office n'a plus donné d'autorisation pour les commandes à l'étranger que quand la preuve lui était apportée que l'ordre à passer à l'étranger ne pourrait être exécuté en France dans des conditions techniques ou économiques acceptables. Il y a d'ailleurs lieu de remarquer que l'importance des commandes passées à l'étranger tient pour beaucoup aux sommes élevées qui ont dû être consacrées aux achats de matières premières que l'étranger est seul en état de fournir (laines, cotons, combustibles, etc...) pour reconstitution des stocks enlevés par l'ennemi dans toutes les manufactures du Nord.

Par l'établissement successif, dans les régions dévastées, de 24 magasins, occupant plus de 345 000 m² de surface, et approvisionnés pour plus de 350 millions de francs de marchandises, le Comptoir s'est attaché, non plus seulement à mettre en commande et à faire exécuter les types de machines et de métiers spéciaux dont les spécifications précises lui étaient apportées par les industriels sinistrés, mais aussi à se mettre en mesure de satisfaire, au jour le jour, aux besoins les plus variés des industriels occupés à la reconstitution de leurs installations (matériel mobile commun à toutes les industries, matériaux de toute nature, tels que chaux, ciment, briques, bois de charpente, etc...)

En centralisant les commandes et en remplissant, pour certaines catégories d'entre elles, le rôle d'acheteur unique, le Comptoir a exercé sur les prix une action modératrice.

Au moment de la grande hausse, le Comptoir a puissamment réagi contre les exigences abusives de certains fournisseurs. Il a, dans bien des cas, passé les commandes à des prix variant d'après des barèmes basés sur les salaires et les matières premières.

Sur un total d'opérations d'environ 400 millions de francs de matériaux et articles courants, la comparaison des prix obtenus par le Comptoir avec ceux du commerce aux mêmes époques fait ressortir une différence de 11,5 pour 100.

Sur 6 milliards de commandes passées depuis l'origine, il apparaît donc que le montant des économies que le Comptoir a permis aux industriels sinistrés de réaliser est de l'ordre de grandeur de 10 pour 100 soit de 500 à 600 millions de francs.

Il est donc juste de constater que le Comptoir est resté fidèle à la double formule qui lui a été assignée dès l'origine et que l'Office a tenu à lui rappeler en maintes circonstances : assurer la reconstitution des régions sinistrées par l'industrie française elle-même et aux conditions d'économie et de rapidité les meilleures, telles que peuvent les obtenir des commerçants et des industriels expérimentés associés dans une œuvre commune d'intérêt général.

Par sa participation à l'organisation première de l'Association centrale pour la reprise de l'activité industrielle dont elle est heureuse de constater les services éminents rendus à la France, la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale a répondu une fois de plus au rôle que lui assignaient ses fondateurs. Elle a pris ainsi une part effective aux efforts de reconstitution de nos industries. Les résultats obtenus prouvent que notre société avait été bien inspirée en apportant le concours de son autorité aux hommes qui se proposaient d'assumer la charge de cette reconstitution, et apportaient à cette œuvre la garantie

(1) MM. Gruner, pour les mines et la métallurgie; Carmicarl, pour les industries textiles; Toulemond, pour les industries lainières; Courtin, pour la brasserie; Beghin, pour les sucreries; Cordier, pour les industries électriques.

(2) Les directeurs de cette Office ont été d'abord le lieutenant-colonel Taffanel, ingénieur en chef des Mines et, après sa démobilisation, le lieutenant-colonel Prangey, ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres.

d'une compétence complète et d'une ardeur au travail que les plus dures épreuves, loin d'abattre, ont renforcée de mois en mois.

Utilisation des crédits mis par le Parlement à la disposition du Comptoir central d'Achats industriels pour les Régions envahies.

| Années. | Programmes approuvés. | Commandes passées. | Payements effectués. |
|-----------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | (francs) | (francs) | (francs) |
| 1917..... | 34 220 153 | | 3 761 937 |
| 1918..... | 273 624 530 | 147 371 539 | 8 856 710 |
| 1919..... | 2 701 336 861 | 2 145 410 682 | 1 067 401 133 |
| 1920..... | 5 865 018 459 | 4 734 673 224 | 3 314 033 978 |

Repartition par pays des commandes du Comptoir central d'Achats à la fin de 1920.

| | | |
|------------------|------------------------------|--------------|
| France | (francs)..... | 2 59 404 817 |
| Angleterre | (livres)..... | 1 285 399 |
| Etats-Unis | (dollars)..... | 5 149 320 |
| Belgique | (francs belges)..... | 86 837 679 |
| Suisse | (francs suisses)..... | 9 781 939 |
| Luxembourg | (francs luxembourgeois)..... | 10 919 180 |
| Allemagne | { (marks)..... | 401 687 839 |
| | { (francs français)..... | 15 701 552 |
| Tchéco-Slovaquie | (couronnes)..... | 44 058 880 |
| Suède | (couronnes)..... | 50 223 |
| Danemark | (couronnes)..... | 35 788 |
| Autriche | (couronnes)..... | 61 000 |
| Italie | (lires)..... | 87 191 |

Assemblées générales

Société des Accumulateurs électriques (Anciens Etablissements Alfred Dinin).

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE ANNUELLE DU 8 NOVEMBRE 1921.

Le compte profits et pertes se solde par un excédent créditeur brut de 1 055 276,38 fr. Après déduction des frais généraux qui s'élèvent à 462 806,67 fr, il reste net 592 469,71 fr avant amortissements, sur lesquels il a été prélevé la somme de 345 586,50 fr pour servir aux actionnaires les intérêts statutaires semestriels.

Le solde créditeur, après ce prélèvement, est de 246 883,21 fr.

Il est impossible de considérer cet excédent créditeur comme un bénéfice net disponible à répartir en sus de l'intérêt de 6 pour 100 déjà versé en raison de l'incertitude actuelle sur les prix réels d'une partie des marchandises et sur la valeur de certaines créances.

En conséquence, l'excédent créditeur de 246 883,21 fr est ajouté au reliquat des exercices précédents, ce qui forme un total de 301 482,21 fr affectés à une provision générale, dont un emploi sera proposé à la prochaine assemblée générale ordinaire.

Il n'y a pas lieu d'être surpris de ce résultat relativement peu favorable qui est la conséquence directe de la crise générale et particulièrement des difficultés qui ont entravé l'essor de la construction automobile pendant le dernier exercice.

Toutefois, l'examen du bilan permet de constater que la situation de la société est restée satisfaisante grâce aux mesures que le Conseil a prises en raison des circonstances.

La société a préféré vendre à bas prix, quitte à ne presque rien gagner, car vendre c'était empêcher la congestion des magasins et la paralysie de l'argent, c'est-à-dire conserver la clientèle, la satisfaire, l'aider à baisser ses prix de revient et à passer la crise.

Telle est la politique suivie par le Conseil; le résultat est la solidité, la sécurité de la société et les bonnes conditions dans lesquelles elle se trouve aujourd'hui pour participer au mouvement de reprise qui semble s'esquisser enfin.

Les services techniques ont apporté aux batteries d'accumulateurs des perfectionnements dignes d'être signalés; désormais, les batteries n'auront plus besoin d'être expédiées déchargées en province et à l'étranger, ce qui nécessite une recharge qui coûte du temps et de l'argent, au moment où on veut les utiliser. Elles partiront sans liquide, mais cependant chargées et pour les mettre en service, il suffira d'y verser le liquide acidulé.

La société va faciliter ainsi la généralisation de l'emploi de ses batteries ainsi que la constitution de stocks en province et à l'étranger.

Les automobilistes trouveront partout nos batteries toutes

chargées, prêtes à servir, sans qu'il en coûte des soins et des frais de courant électrique aux dépositaires et agents.

La simplification de la construction, de l'entretien, allée à une plus grande solidité, a été obtenue par la mise au point de monoblocs isolants contenant tous les éléments d'une même batterie, ce qui permet de supprimer la caisse de bois dans laquelle on plaçait des bacs séparés.

En raison de l'importance de la clientèle dans la région lyonnaise, la société a installé une maison de vente à Lyon dans une des artères le plus fréquentées de la ville.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

| Actif. | fr |
|------------------------------------------------------|----------------------|
| Usine de Nanterre : | |
| Terrains..... | 458 779,10 |
| Constructions..... | 3 812 478,45 |
| Aménagements..... | 512 510,15 |
| Matériel..... | 1 676 839,09 |
| Usine de Vénissieux..... | 352 177 » |
| Succursale de Lyon : | |
| Aménagements..... | 31 722,96 |
| Matériel..... | 1 107,43 |
| Frais de premier établissement..... | 50 483,70 |
| Brevets et marques..... | 100 000 » |
| Fonds de commerce..... | 200 000 » |
| Magasin, matières premières et pièces détachées..... | 1 115 090,12 |
| Marchandises en cours de fabrication..... | 354 934,65 |
| Marchandises fabriquées..... | 428 621,37 |
| Débiteurs clients..... | 1 753 637,10 |
| Divers comptes débiteurs..... | 118 791,52 |
| Dépôts et cautionnements..... | 31 790 » |
| Avances à fournisseurs..... | 10 943,80 |
| Caisses et banques..... | 632 976,97 |
| Effets en portefeuille..... | 179 735,90 |
| Titres en portefeuille..... | 2 250 » |
| | 12 124 869,61 |

| Passif. | fr |
|----------------------------------------------|----------------------|
| Capital..... | 6 000 000 » |
| Réserve légale..... | 217 052,55 |
| Réserve spéciale..... | 1 725 784,45 |
| Réserve extraordinaire..... | 235 807,90 |
| Amortissements des exercices précédents..... | 1 317 586,98 |
| Effets à payer..... | 2 993,40 |
| Fournisseurs..... | 869 185,10 |
| Entrepreneurs..... | 737 119,80 |
| Main-d'œuvre..... | 25 903,44 |
| Créditeurs terrains Nanterre..... | 107 742,87 |
| Coupons d'actions..... | 193 988 » |
| Divers comptes créditeurs..... | 380 249,31 |
| Avances des clients..... | 9 975,60 |
| A reporter..... | 11 823 387,40 |

| | | |
|-------------------------------------------------------|-------------|----------------------|
| Profits et pertes : | Report..... | 11 823 387 40 |
| Reliquat exercices précédents..... | | 54 599 » |
| Excédent exercice 1920-1921 avant amortissements..... | | 246 883,21 |
| | | <u>12 124 869,61</u> |

Sud-Electrique.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 21 DÉCEMBRE 1921 (1).

Durant l'exercice, les concessions acquises par la société et non exploitées sont au nombre de 18 ? 6 dans le Gard, 8 dans l'Hérault, 2 dans le Vaucluse, 2 dans les Bouches-du-Rhône; le nombre des concessions en service au 30 juin 1921 était de 163 en augmentation de 3 sur l'exercice dernier.

Le nombre total des communes alimentées directement ou indirectement au 30 juin 1921 s'élevait à 188.

La population agglomérée desservie est de 400 000 habitants environ.

La longueur des lignes primaires, comprenant des lignes à 5 000, 13 500 et 30 000 v, est passée de 1 248 à 1 300 km, et celle des lignes secondaires de 406 à 418 km.

L'ensemble des lignes est donc passé de 1 644 à 1 718 km.

Avec les lignes haute tension appartenant à la Société des Forces motrices de la Vis, mais dont la société assure l'exploitation, celle-ci dispose actuellement de 1 808 km de lignes dont 1 390 en haute tension.

La clientèle a continué sa progression.

La société alimentait en juin 1921 une puissance installée de près de 27 000 kw.

L'assemblée générale extraordinaire du 2 juin 1920 avait autorisé le Conseil à porter le capital, en une ou plusieurs fois, de 11 000 000 fr à 20 000 000 fr par la création et l'émission d'actions de priorité nouvelles, au capital nominal de 250 fr chacune, à souscrire et à libérer contre espèces, ayant les mêmes droits que les actions de priorité actuelles.

Conformément à cette autorisation, il a été procédé, pendant l'exercice à l'augmentation du capital de 11 à 15 millions de francs par la création de 16 000 actions de priorité de 250 fr qui ont été émises au pair.

Il a été remboursé le 1^{er} juillet les 3 millions de francs de bons 6 pour 100 qui venaient à échéance à cette date.

Il y a eu à rembourser le 1^{er} janvier 1922 les 2 millions de francs de bons restant en circulation.

Conformément à l'autorisation donnée au Conseil, celui-ci a émis en novembre dernier 10 millions de francs d'obligations 6,5 pour 100 net d'impôts.

Le Conseil avait signalé l'année dernière les pourparlers engagés, d'une part, avec les communes desservies et, d'autre part, avec la clientèle, en vue du relèvement général des tarifs, pour tenir compte de la situation économique actuelle.

Les nouveaux tarifs ont été appliqués dès le début de l'exercice et les recettes d'exploitation sont en sensible augmentation du fait de ces relèvements.

Les approbations des avenants signés avec les communes se sont poursuivies pendant toute la durée de l'exercice et, à l'heure actuelle, la presque totalité des avenants sont approuvés par l'Administration préfectorale.

En ce qui concerne les prix d'achat de l'énergie électrique, le Conseil avait également signalé l'accord intervenu avec le principal fournisseur de courant. Un autre accord établi sur les mêmes bases a été signé au cours de l'exercice avec le second fournisseur de courant en gros.

La situation, au point de vue des tarifs d'achat et de vente d'énergie, se trouve donc actuellement équilibrée.

La société bénéficie de plus, pour l'exercice en cours, de l'augmentation de production de l'usine de Madières sur la Vis, appartenant à la Société des Forces motrices de la Vis, et pour le compte de laquelle elle a procédé, l'année der-

nière, à d'importants travaux d'élargissement du canal d'amenée.

La Société avignonnaise d'Electricité et la Société nimoise d'Electricité ont continué leurs exploitations dans de bonnes conditions. (Voir *R. G. E.* du 30 avril 1921, t. ix, p. 628, pour le compte rendu de la première et du 29 mai 1920, t. vii, p. 749, pour la deuxième.)

Les recettes de l'exercice 1920-1921 se décomposent comme suit :

Recettes de vente de courant, 7 576 667,44 fr.

Recettes diverses, 197 80,23 fr, soit au total 7 596 447,67 fr contre 5 084 416,26 fr pour l'exercice précédent.

Les dépenses d'exploitation s'élèvent à 4 843 290,92 fr en augmentation de 1 884 685,17 fr sur celles de l'exercice précédent.

Le bénéfice net du compte d'exploitation s'élève donc à 2 753 156,75 fr en augmentation de 627 346,24 fr sur celui de l'exercice précédent.

Après déduction des frais généraux et amortissements, le bénéfice disponible s'élève à 1 370 410,75 fr en augmentation de 181 744,22 fr sur celui de l'exercice précédent.

Sur ce solde, il est prélevé 408 560 fr pour la réserve générale d'amortissement.

Il reste 961 850,75 fr auxquels s'ajoute le report précédent 101 742,17 fr, qui se répartissent :

5 pour 100 à la réserve légale, un dividende de 7,50 pour 100 aux actions de priorité et aux actions ordinaires, un dividende de 2,526 fr aux actions de priorité nouvelles, 69 668,45 fr de tantièmes statutaires.

Le report à nouveau est de 80 485,97 fr.

Le dividende est payable à partir du 23 décembre, sous déduction des impôts à raison de : 17,45 fr aux actions nominatives, 16,13 fr aux actions au porteur et 2,35 fr aux actions de priorité nouvelles contre remise du coupon n° 7 des actions de priorité, du coupon n° 5 des actions ordinaires et du coupon spécial n° 7 des actions nouvelles.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

| Actif. | fr |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Frais de constitution et d'augmentations du capital..... | 1 » |
| Dépenses générales de premier établissement (concessions, usines, réseaux, etc.)..... | 32 252 674,52 |
| Forces motrices de la Vis..... | 1 719 928,75 |
| Chute Haute-Vis..... | 1 027 932,89 |
| Mobilier, outillage et moyens de transport..... | 1 » |
| Compteurs et installations en location..... | 1 321 635,56 |
| Caisses et banques..... | 3 631 180,83 |
| Débiteurs divers et effets à recevoir..... | 3 421 125,51 |
| Cautionnements..... | 15 050 » |
| Approvisionnements..... | 1 683 861,15 |
| Portefeuille..... | 2 404 226 » |
| Prime de remboursement des obligations..... | 491 730 » |
| Impôts de finances à recouvrer..... | 93 705,45 |
| Avances sur travaux en cours..... | 55 730,80 |
| | <u>38 218 803,46</u> |

| Passif. | fr |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Capital : | |
| 55 500 actions de priorité de 250 fr chacune..... | 13 875 000 » |
| 4 500 actions ordinaires de 250 fr chacune..... | 1 125 000 » |
| Obligations : | |
| 5 pour 100 (ancienne série) : 1152 obligations en circulation..... | 576 000 » |
| Obligations : | |
| 5 pour 100 (nouvelle série) : 18978 obligations en circulation..... | 9 489 000 » |
| Bons 6 pour 100..... | 5 000 000 » |
| Reserve légale..... | 219 913 » |
| Reserve générale d'amortissement..... | 2 091 440 » |
| Fournisseurs et créanciers divers..... | 4 037 797,18 |
| Coupons d'actions restant à payer..... | 12 458,47 |
| Obligations à rembourser, coupons échus (obligations et bons)..... | 320 741,89 |
| Profits et pertes reportés..... | 101 742,17 |
| Profits et pertes de l'exercice..... | 1 370 410,75 |
| | <u>38 218 803,46</u> |

(1) Pour le compte rendu de l'assemblée générale de 1920, voir *R. G. E.* du 5 mars, 1921, t. ix, p. 341.

SECTION DE LÉGISLATION

Pénalités prévues par le cahier des charges des distributions communales. Le cautionnement

Articles 30 et 31 du cahier des charges

L'auteur continue l'étude⁽¹⁾ du chapitre intitulé « clauses diverses » dans le cahier des charges : il réunit à dessein l'article 30 qui fixe les pénalités et l'article 31 qui règle la question du cautionnement, dans le but de dissiper l'erreur si commune d'après laquelle le cautionnement constitue la limite extrême que les pénalités peuvent atteindre.

L'article 30 du cahier des charges intitulé « pénalités » serait bien certainement un des articles les plus dangereux pour les concessionnaires si les maires comprenaient exactement le droit qu'il leur donne ; il faut reconnaître que, relativement, il est peu employé ; en tout cas, beaucoup de concessionnaires sont, à ce sujet, dans une tranquillité absolue, parce qu'ils s'imaginent ne pouvoir être, à ce titre, débiteurs que du montant de leur cautionnement.

But de l'article 30 sur les pénalités. — Sa sphère d'application. — Le but de l'article 30 est de prévoir, entre concédant et concessionnaire, les hypothèses plus particulièrement fréquentes où l'on rencontre en défaillance tout distributeur de courant ; c'est une sorte de clause pénale qui, d'après l'article 1226 du Code civil, a l'avantage de soustraire, à l'arbitraire du tribunal, la fixation de l'indemnité ; mais elle présente ce caractère tout spécial, cantonné exclusivement dans le domaine administratif, qu'elle n'a pas à faire l'objet d'une demande en justice et que le maire a le droit de la prononcer, au profit de la commune, après avis de l'ingénieur en Chef du Contrôle, et, d'après l'article 31, elle sera prélevée sur le cautionnement.

Comme un contrat ne saurait lier d'autres personnes que celles qui le signent, il est spécifié que les *droits des tiers sont réservés*, c'est-à-dire que tout consommateur qui se prouverait lésé par un manquement au cahier des charges peut, contre le concessionnaire, obtenir du tribunal des dommages intérêts : ils s'ajouteront, malheureusement pour le distributeur, à ceux qu'il devra payer à la commune comme sanction contractuelle de sa défaillance.

Les cas prévus à l'article 30 sont de deux sortes : la première catégorie ne comprend qu'un cas qui est un manquement non pas à un article spécialement déterminé du cahier, mais à l'obligation principale résultant

du contrat : « En cas d'interruption *générale non justifiée* du courant, amende de... par heure d'interruption ». Aussi, cette catégorie est-elle appelée fréquemment : « l'amende par heure. »

La deuxième catégorie comprend, au contraire, des manquements aux articles spécifiés, savoir : *l'article 6*, inobservation de certains délais (remises des projets d'ouvrages, retard dans le commencement et le parachèvement des travaux généraux ou de confection d'une ligne exigible dans les conditions données) ; *l'article 9* (irrégularité dans la tension et la fréquence promises) ; *l'article 13* (manquement à l'obligation de consentir des abonnements sur tout le parcours de la distribution) ; *l'article 28* (retard dans la remise au maire des états statistiques). On désigne pratiquement cette catégorie par l'appellation suivante : « amende par jour. »

S'il est certain que la commune concédante a le droit d'exiger et de prélever les amendes pour les manquements prévus, n'aura-t-elle que ce droit ? Par exemple, au cas où le courant viendrait à manquer, devrait-elle se contenter d'infliger une pénalité de *N* francs par heure au concessionnaire jusqu'à expiration de sa concession ? La réponse se trouve dans le simple rapprochement de l'article 30 avec l'article 25 qui, prévoyant la *déchéance* donne le droit au ministre de la prononcer, si *l'exploitation vient à être interrompue* en tout ou en partie ; c'est bien l'hypothèse envisagée aussi par l'article 30 et qui donne lieu à l'amende de première catégorie ; en plus elle *fait encourir* la *déchéance*.

Parmi les retards de la seconde catégorie qui, d'après l'article 30, font encourir une pénalité fixée par jour, il en est qui sont susceptibles d'entraîner aussi la *déchéance* si le maire la demande et si le ministre y consent ; les articles 25 et 30 ont des prévisions communes : le premier ne vise, en réalité, comme le second que des retards quand il écrit, dans sa première ligne : « si le concessionnaire n'a pas présenté les projets d'exécution, ou s'il n'a pas achevé et mis en service les lignes de distribution dans les délais et conditions fixés par le cahier des charges, il encourra la

⁽¹⁾ Voir *Revue générale de l'Electricité*, 7 et 21 janvier 1922, t. XI, p. 37-40, et p. 107-111.

déchéance ». Cette dernière sanction interrompra le cours des pénalités et se substituera à elles à partir du jour où le ministre la prononcera ⁽¹⁾.

Au contraire, la déchéance ne sera pas encourue et la pénalité seule subsistera dans les cas qui sont exclusivement indiqués à l'article 30 sans trouver de mention correspondante dans l'article 25; par exemple : le manquement à l'article 9 (irrégularité de tension et de fréquence); à l'article 13 (retard dans l'obligation de consentir les abonnements) et à l'article 28 (non remise des états statistiques) ne pourrait donner lieu qu'à des pénalités. Il est vrai de dire que, d'une part, dans les manquements aux obligations techniques inscrites au cahier des charges, les tiers dont les droits sont réservés, interviendront le plus souvent pour joindre leur recours à celui de la commune, ce qui sera un surcroît de charges, tel que le concessionnaire ne pouvant le supporter devra mettre un terme à ses défaillances, et que, d'autre part, dans toutes les hypothèses, les pénalités étant prélevables sur le cautionnement, et celui-ci devant être complété à nouveau dans la quinzaine du prélèvement, sous peine de déchéance, cette dernière mesure est toujours susceptible d'être fatalement acquise à la commune, même dans le cas où les pénalités seules seraient théoriquement encourues.

⁽¹⁾ Il y a peut être lieu de remarquer que le cahier des charges, dans l'article 30, ayant prévu à peu près tous les cas qui peuvent préjudicier à la commune, il est inutile, en fait, d'examiner si, sans faire prononcer la déchéance par le ministre, la commune pourrait demander au Conseil de Préfecture de condamner le concessionnaire au paiement de dommages-intérêts pour d'autres faits que ceux qui sont prévus audit cahier. Nous disons à dessein pour « d'autres faits », car il est évident que, pour les faits prévus, la clause pénale peut seule jouer; c'est d'autant plus évident que le maire n'aura pas à demander une condamnation, mais à prélever la pénalité sur le cautionnement. Néanmoins, nous citons pour mémoire et à titre de tendance de la jurisprudence un arrêt du Conseil d'Etat (31 mai 1907, *Dalloz*, 1907, 3, 81, Affaire Delplanque contre la ville de Nouzon) en conformité des conclusions de M. le commissaire du gouvernement Romieu : d'après cette décision, le Conseil d'Etat a abandonné la jurisprudence ancienne et stricte (15 juillet 1881, affaire Syndic du Chemin de fer d'Orléans contre Département d'Eure-et-Loir, *Dalloz*, 1882, 3, 104, et 11 janvier 1884, Leval contre Département du Pas-de-Calais, *Dalloz*, 1885, 3, 77) d'après laquelle, par le seul fait que le cahier des charges n'avait pas fixé de sanction pour un fait déterminé, le juge administratif ne pouvait prononcer la moindre condamnation pécuniaire, n'ayant à sa disposition que la résiliation, même non prévue à l'acte de concession : l'arrêt précité a condamné le sieur Delplanque concessionnaire de l'éclairage à payer à la ville de Nouzon une indemnité de 1 100 fr pour absence d'appareils photométriques, défaut d'entretien, insuffisance de tension, toutes infractions sur lesquelles le cahier était muet, puisqu'il ne prévoyait des indemnités qu'au cas où le nombre de lampes n'aurait pas été atteint, où il y aurait eu des retards d'allumage; pour d'autres cas, la déchéance comme sanction était seule prévue : le commissaire du gouvernement a déclaré que pour toute sanction prévue, le cahier s'imposerait en sa forme et teneur et que, pour les autres, il y aurait lieu pour le tribunal d'arbitrer la somme. Voir aussi : 15 janvier 1897 (Société d'Usine à Gaz) et 24 janvier 1902 (Gilquin) et, enfin, 10 novembre 1905 (Département de la Marne).

L'épuisement du cautionnement, pas plus que le remboursement à concurrence de la moitié effectuée par la commune, après l'achèvement du réseau principal de la distribution, comme il est prévu à l'article 31, n'empêcheront le concessionnaire de rester débiteur des amendes qui seraient accumulées à son préjudice et dont le paiement, ne pouvant plus être prélevé, serait toujours exigible et recouvrable dans les termes du droit commun.

Nous croyons utile, d'ailleurs, d'analyser tout spécialement la jurisprudence.

Jurisprudence au sujet des pénalités. — Il a été jugé par le Conseil d'Etat (arrêt du 6 décembre 1918, Société de Distribution électrique du Rhône contre commune de Jarnioux, *Revue des Concessions*, année 1918 t. xvii, p. 294) que « si une commune se trouve nettement dans l'hypothèse d'un retard prévu à l'article 30 du cahier des charges, elle a le droit de réclamer la pénalité fixée à 4 fr par jour, sans préjudice de la déchéance qui peut, après mise en demeure et sur avis conforme du conseil municipal, être prononcée par le ministre des Travaux publics; que le concessionnaire ne peut échapper à cette sanction, soit en sollicitant la déchéance dont l'initiative n'appartient qu'à l'administration, soit en déclarant qu'il entend ne donner aucune suite au contrat; que si l'article 31 du cahier prévoit le prélèvement des amendes sur le cautionnement et la reconstitution de ce dernier dans les quinze jours, le but de cette disposition est seulement de permettre à l'Administration d'employer un mode de recouvrement particulièrement rapide et n'a pas eu pour effet de priver l'autorité concédante du droit qui appartient, en vertu de l'article 2092 du Code civil, à tout créancier, de poursuivre sur l'ensemble des biens de son débiteur le paiement de ce qui est dû; par conséquent, le Conseil de Préfecture décide à bon droit, et sa décision doit être maintenue par le tribunal supérieur, qu'une société concessionnaire est tenue du montant des amendes par elle encourues, non seulement sur son cautionnement, mais encore sur l'ensemble de son actif social ».

Le même jour, par un arrêt rendu entre Grialou et la commune de Marcy l'Etoile (même référence, p. 296), le Conseil d'Etat a jugé ce qui suit : d'abord, il a appliqué à Grialou tout ce qu'il avait décidé dans l'arrêt précité; en suite, le sieur Grialou ayant prétendu que les amendes avaient été prononcées par le maire sans avoir pris l'avis de l'ingénieur en chef, le Conseil déclare que ce moyen manque en fait, puisque le dossier révélait un avis donné par l'ingénieur du Contrôle; le concessionnaire ayant soutenu que le commandement d'avoir à payer les sommes dues lui avait été fait sans titre, le Conseil d'Etat rappelle que « lorsque le recouvrement d'une recette municipale n'a pas été soumis par une loi ou un règlement à un mode spécial, la poursuite doit commencer par un état dressé par le maire ».

Le même jour (6 décembre 1918, affaire Commune

de Marey l'Etoile contre Société de Distribution d'Energie électrique, même référence, p. 298) le Conseil d'Etat juge :

a) En ce qui concerne les pénalités pour retard, le concessionnaire d'une concession est tenu en principe du paiement de tout ce qui incombe au concessionnaire primitif.

b) Mais si le conseil municipal, en discutant les conditions de la substitution de la société au concessionnaire primitif, a accordé à cette société un délai pour exécuter ce qui incombait au substitué, c'est seulement à partir de l'expiration de ce délai que les pénalités pour retard pourront être dues.

c) Qu'une commune n'est pas recevable pour combler la différence entre la somme qu'elle demande et ce qui lui est accordé pour pénalités de retard, à réclamer du Conseil d'Etat l'allocation de cette différence à titre d'indemnité générale pour inexécution du contrat quand le conseil de préfecture n'a pas été saisi en première instance d'une pareille demande.

Enfin, le même jour encore (6 décembre 1918, affaire commune de Grézieu-la-Varenne contre Grialou, même référence, p. 300), le Conseil d'Etat a jugé une affaire intéressante à plusieurs points de vue : une commune pour avoir paiement d'indemnité de retard avait fait signifier un commandement à son concessionnaire initial le sieur Grialou. Le Tribunal de Lyon, en date du 30 novembre 1911, avait ordonné la discontinuation des poursuites jusqu'à ce que le Conseil de Préfecture ait établi si la somme réclamée était légalement due.

Or, le cahier des charges portait que les travaux seraient commencés « dans le délai de trois jours à dater de l'approbation du projet et poursuivis sans interruption de manière à être achevés le 19 décembre 1908 ». Le Conseil d'Etat remarque que la présentation des projets par le concessionnaire ne peut avoir lieu que postérieurement à l'approbation de la concession elle-même : et cette approbation n'était intervenue que le 30 novembre. Il était donc matériellement impossible que les travaux fussent terminés le 19 décembre puisque la présentation des projets ne devait être faite que trois jours après le 30 novembre. Mais bien plus, le Conseil d'Etat remarque que, saisie des projets auxquels elle devait donner son adhésion, l'administration n'avait accompli son œuvre d'approbation qu'après le 19 décembre : c'était donc commettre une absurdité, que faire remonter la date des pénalités pour inexécution, à une époque à laquelle le concessionnaire

pouvait démontrer qu'il était parfaitement en droit de ne pas les avoir commencés, faute d'avoir reçu l'approbation de ses projets.

Le prononcé des amendes. Formalités. — Sauf l'obligation de consulter, pour avis, l'ingénieur en chef du Contrôle, le maire possède le pouvoir de prononcer les amendes. Ce pouvoir doit être exercé dans des conditions normales raisonnables ; un arrêt du Conseil d'Etat du 1^{er} mai 1914 (affaire Tourand et Dréan contre ville d'Avranches, *Revue des Concessions*, année 1914, page 280) a eu à statuer vis-à-vis d'un gazier, en vertu d'un cahier des charges qui ressemblait beaucoup, au sujet des amendes, à la clause de l'article 30 ; il portait les termes suivants : « hors le cas de force majeure constaté, s'il y avait extinction ou notable altération de tous les becs ou d'une partie d'entre eux, ou s'il y avait retard dans l'allumage, par le fait du concessionnaire ou des agents, il serait fait au concessionnaire, qui s'y soumet, une retenue à titre d'indemnité, de cinq centimes par heure et par chaque bec qui aurait été l'objet de la contravention pendant tout le temps qu'elle aura duré ».

A l'égard de toutes les constatations faites par la ville sans l'assistance des agents du concessionnaire, le Conseil d'Etat a décidé qu'elles étaient régulières et n'avaient point à être contradictoires ; car une telle exigence permettrait au distributeur de les rendre impossibles ; mais pour statuer sur la valeur de ces constatations et leur conséquence pécuniaire, le Conseil d'Etat les a divisées en deux parties ; les unes n'avaient soulevé aucune protestation de la part du concessionnaire ; le Conseil a considéré que la ville était fondée à admettre la durée du manque d'éclairage comme égale à celle fixée par le tableau de service ; les autres avaient fait l'objet de réserves, exprimées soit par lettres adressées au maire, soit au moyen d'annotations sur les récépissés de notification ; le Conseil a décidé qu'il n'était pas permis à une municipalité de garder la somme réclamée par elle, faute d'avoir mis le concessionnaire en demeure de justifier du bien-fondé de ses réserves quelle que fût la forme qu'il leur avait donnée ; la même jurisprudence, fondée sur le bon sens, serait admise en matière des pénalités prévues à l'article 30 et des réserves auxquelles elles pourraient donner lieu.

Paul BOUGAULT,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

La sécheresse des années 1920-1921 et les restrictions d'énergie électrique

Ainsi qu'il a été signalé à plusieurs reprises dans cette Revue, la sécheresse exceptionnelle qui sévit en France se manifeste également dans les autres pays d'Europe et la disette d'énergie hydroélectrique qui en résulte y cause, comme chez nous, des perturbations économiques considérables. Ces perturbations sont particulièrement importantes dans le nord de l'Italie et en Suisse qui, en raison de leur pauvreté en combustibles minéraux, utilisent plus largement leurs richesses hydrauliques. Aussi, dans l'un et l'autre de ces pays, le gouvernement a-t-il dû se préoccuper de réglementer la répartition de l'énergie hydraulique disponible. On trouvera dans l'article qui suit les mesures qui ont été prises dans ce but ainsi que les textes des décrets et arrêtés qui ont été récemment promulgués tant en Italie qu'en Suisse.

I. — Les quinze mois qui viennent de s'écouler ont été caractérisés par une grave sécheresse dans plusieurs pays d'Europe : Russie, Norvège, Danemark, Allemagne du Nord, Angleterre, Suisse, Italie, France. Les résultats des observations météorologiques montrent qu'en Angleterre et dans le Pays de Galles, le record de sécheresse détenu par les années 1887 et 1893 se trouve dépassé en 1921. A Londres il n'est tombé en 1921 que 313 mm de pluie, la moyenne étant 605 mm. Le déficit de précipitations est également très accusé en Suisse romande et dans l'Italie du Nord. Cependant, il semble que ce soit la région des Alpes françaises qui ait subi la disette d'eau à son maximum d'intensité.

La statistique du régime des pluies permet de conclure que la hauteur totale des précipitations recueillies au cours des quinze derniers mois est très inférieure aux minima précédemment observés. Alors qu'antérieurement, les plus graves sécheresses furent notées au cours de différentes années suivant les régions, le phénomène présente un caractère absolument général en 1921.

Dans le bassin de la Seine, le total des précipitations n'atteint pas la moitié de la moyenne normale. C'est ainsi qu'à l'Observatoire du Parc-Saint-Maur on a recueilli 278 mm de pluie, la normale étant 576 mm. A Vesoul, on a constaté 463 mm alors que la normale est 924 mm. Des écarts plus considérables encore ont été notés dans les Alpes et la région méditerranéenne. On n'a relevé pendant l'année 1921 que 54 pour 100 des précipitations normales à Grenoble, 30 pour 100 à Embrun, 37 pour 100 à Sisteron, 48 pour 100 à Marseille, 32 pour 100 à Nice. C'est surtout pendant l'automne dernier que la sécheresse a été la plus intense ; il n'est tombé que 35 mm de pluie à Embrun pendant les trois mois de septembre, octobre, novembre 1921 alors que la normale est de 228 mm ; à Nice, 15 mm pour une normale de 328 mm.

De plus, l'année 1921 a présenté une augmentation notable de la température moyenne annuelle.

Conséquence naturelle d'une pareille sécheresse, le débit des cours d'eau s'est abaissé, dans des proportions auparavant inconnues. C'est ainsi que pour le Drac, les débits moyens les plus bas à Avignonet n'étaient pas descendus au-dessous de 23 m³/s ; on a constaté

14,8 m³/s en 1921 soit 65 pour 100 du plus faible débit antérieur. Pour la Durance, la moyenne des débits annuels à Sisteron est de 129 m³/s ; le débit de 58 m³/s relevé en 1921 ne représente que 45 pour 100 de la moyenne annuelle et 64 pour 100 du débit le plus faible observé.

II. — Les renseignements recueillis sur les hauteurs de pluie et sur les débits des cours d'eau prouvent que dans la presque totalité de la France, l'année 1921 dépasse de beaucoup, en ce qui concerne la sécheresse, les années les plus sèches connues.

On se trouve donc en présence d'un événement absolument anormal, unique dans les Annales météorologiques, véritable cas de force majeure, qui, de l'avis de juristes éminents, doit exonérer les producteurs d'énergie électrique des conséquences pouvant résulter des suppressions ou des réductions de fourniture qu'elles ont dû imposer à leur clientèle.

III. — Ces restrictions ont été surtout importantes dans les Alpes et dans le Sud-Est de la France. Ainsi, dans la région de Grenoble, jusqu'à la fin du mois de décembre 1921, le service n'a pu être assuré que par roulement. Un tiers de la puissance produite est obtenu thermiquement ; pour les deux autres tiers, on opéra le roulement par marche successive des usines, les unes de cinq à treize heures, les autres de douze à vingt heures. Pour celles qui marchent vingt-quatre heures, on opéra par suspension de un ou deux jours par semaine suivant les moments. Si la situation ne s'était pas améliorée à la suite des chutes de neige et de pluie de janvier, on n'aurait eu d'autre ressource que d'augmenter le nombre des jours de suspension.

Dans les Alpes-Maritimes, le Var, les Bouches-du-Rhône, Vaucluse, Basses-Alpes, Hautes-Alpes, la sécheresse a sévi un peu plus longtemps que dans la région de Grenoble, la pluie et la neige n'étant tombées en quantité appréciable que vers le milieu de janvier. Les mesures prises dans ces départements ont été les suivantes :

1° Pour les clients directs et la force motrice des distributions communales, à l'exception des industries chimiques à marche continue obligatoire :

Répartition de la clientèle en deux groupes arrêtés par roulement pendant trois jours par semaine, l'un : les lundi, mardi et mercredi ; l'autre, les jeudi, vendredi et samedi.

2° Pour les industries chimiques à marche continue obligatoire de vingt-quatre heures :

a) Industries dont la puissance peut être fractionnée : réduction de 50 pour 100 pendant les vingt-quatre heures de chaque jour.

b) Industries dont la puissance ne peut être fractionnée : arrêt de fabrication de 10 heures à 21 heures, la fourniture de courant pendant cette période étant limitée au minimum indispensable aux opérations n'admettant pas d'interruption.

A ces restrictions de caractère industriel, viennent s'ajouter celles concernant l'éclairage public et privé.

IV. — En France ; en Italie et en Suisse, la situation est d'ailleurs tout aussi grave.

La sécheresse n'a pas été moins grande en Italie qu'en France. Dès le mois de novembre, le gouvernement s'est inquiété de cet état de choses et, en décembre, il publiait un décret-loi autorisant les préfets du Royaume à prendre des mesures propres à diminuer la consommation d'énergie électrique et à augmenter la production à l'aide d'installations thermiques. En voici la teneur :

Décret-loi du 1^{er} décembre 1921 (Italie).

ARTICLE PREMIER. — En plus des facultés accordées par le décret-loi du 28 décembre 1919, n° 2547, les préfets du Royaume sont autorisés, dans les provinces où une grave diminution d'énergie électrique se produit, à ordonner, au besoin par le moyen de la réquisition, la mise ou la remise en action à plein rendement des installations thermiques, moyennant l'exécution des travaux à cet effet nécessaires.

Cette disposition est applicable aux installations thermiques appartenant, soit à des producteurs ou vendeurs d'énergie électrique, soit à des particuliers pour leurs propres besoins.

La faculté de réquisition appartient également aux préfets dans le cas où la quantité d'énergie électrique, quelle que soit sa production, ne serait pas utilisée ou ne serait pas convenablement utilisée dans l'intérêt général.

ART. 2. — Les mesures concernant l'énergie électrique pour chemins de fer, tramways, mines ou fabriques de combustibles, visés au dernier paragraphe de l'article premier du décret du 28 décembre 1919, n° 2547, sont adoptées par le ministre des Travaux publics, la deuxième section du Conseil supérieur des Eaux entendue.

ART. 3. — Pour intensifier la production des installations d'énergie hydroélectrique ou pour fournir l'eau nécessaire aux installations thermiques, les dispositions visées au décret du 9 octobre 1919, n° 2161, sur les dérivations et l'utilisation d'eaux publiques seront adoptées, au besoin même d'office, sur la proposition des préfets ou des commissaires régionaux visés à l'article suivant.

ART. 4. — Le président du Conseil des Ministres, de concert avec le ministre des Travaux publics, avec le ministre de l'Industrie, et avec le ministre du Travail, a la faculté de nommer des commissaires régionaux autorisés à coordonner et à faire mettre en exécution les dispositions prévues dans

le décret précité du 28 décembre 1919, n° 2547, et par le présent décret.

Les commissaires régionaux examineront les conditions locales et auront, à cet effet, tous pouvoirs d'inspection et de contrôle sur la production et sur la consommation de l'énergie électrique.

Sur proposition desdits commissaires, les préfets, en vertu des pouvoirs qui leur sont conférés par l'article 3 du texte unique du 4 février 1915, n° 148, de la loi communale et provinciale, du décret du 28 décembre 1919, n° 2547 et du présent décret prendront toutes mesures nécessaires.

ART. 5. — Le ministre des Travaux publics, la deuxième section du Conseil supérieur des Eaux entendue, tranche les divergences éventuelles qui se produiraient dans l'évaluation des besoins des différentes provinces. Aux réunions qui seront tenues pour cet examen, près de la deuxième section dudit Conseil, interviendront un représentant du Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale, un représentant du Ministère de l'Industrie et un représentant de la Commission technique pour les Travaux contre le Chômage.

ART. 6. — Les recours contre les dispositions du présent décret n'ont aucun effet suspensif.

ART. 7. — La vérification des dépenses effectuées pour la production de l'énergie thermique, par suite de mesures prises en vertu du présent décret et leur répartition est dévolue aux commissions arbitrales instituées par les décrets-lois des 31 octobre 1919, n° 2264 et 13 mars 1921, n° 283. En cas de contestations intéressant le territoire de plusieurs provinces, c'est à la Commission arbitrale centrale qu'appartiendra la décision. Dans ces cas, deux membres seront désignés pour représenter les parties litigieuses.

ART. 8. — Le présent décret a la durée d'un an et entrera en vigueur à partir de la date de sa publication dans la « Gazzetta ufficiale » du Royaume. Il sera présenté au Parlement pour être converti en loi.

Les préfets obéirent immédiatement à ce décret. A Gènes, une réduction de 50 pour 100 de la fourniture de force motrice fut imposée aux industriels.

Le préfet de Milan, ordonna aux usines de production d'énergie électrique de marcher jour et nuit et même les jours de fête, sauf en cas de réparations de machines. L'inspecteur du Travail fut chargé de fixer la puissance exigible de chaque centrale. Il proposa de ne fournir la force motrice aux industriels, que durant huit heures par jour et de la leur supprimer au plus tard à dix-sept heures, en exceptant de ces mesures les industries qui travaillaient préalablement à deux ou trois équipes. Les jours fériés, la force ne serait pas distribuée de minuit à minuit.

Le 19 décembre, une commission nommée par le Cercle des Intérêts industriels, agricoles et commerciaux de Milan, exposait le résultat de son enquête en Haute-Italie, et indiquait comme remèdes possibles :

Couper une digue formée par les alluvions de Lecco pour abaisser le plan d'eau du lac de Côme, ce qui fournirait deux millions de kilowatts-heure ; vider le lac Castel, abaisser de 0,50 m le lac Varèse, procéder de même pour les autres lacs : on obtiendrait ainsi 50 000 kw-h par jour, soit le quarantième de la consommation moyenne. Employer le charbon au lieu de l'électricité sur les lignes de chemin de fer de la Valteline et de Milan-Varèse.

La Commission concluait que le seul moyen était de limiter la consommation ; elle demandait que l'on éteignît les fours électriques des aciéries qui consomment 150 000 kw-h ; qu'on supprimât les lignes de tramways les moins fréquentées ; qu'on établit un roulement dans les industries, pour la distribution de la force motrice ; que le public fit des concessions et n'employât pas d'appareils de chauffage électrique. Faute de ces sacrifices, l'éclairage par l'électricité ne pourrait plus être assuré que deux heures par jour. Ces propositions furent approuvées par le Cercle des Industriels.

La sécheresse persistant, le Gouvernement italien prit des mesures plus radicales. Le ministre de l'Intérieur signa le 22 décembre 1921 un décret adressé aux préfets, dont les principaux articles sont les suivants :

ARTICLE PREMIER. — A partir du 24 décembre 1921, à minuit, jusqu'au 1^{er} janvier 1922 à minuit, les sociétés productrices d'énergie électrique : la Société générale électrique, de l'Adamello, les Entreprises électriques Conti, la Société lombarde de Distribution d'Energie électrique, la Société de Varèse pour les entreprises électriques, les Sociétés Dinamo et Brasmone sont obligées de suspendre tout prélèvement d'eau sur leurs lacs réservoirs.

ART. 2. — Dans la région lombarde et pour la période ci-dessus, il est interdit aux usagers de prélever de l'énergie électrique sur les réseaux de toutes les sociétés de distribution indistinctement, pour quelque usage que ce soit.

Suivent quelques dérogations visant les services publics de première nécessité. Le personnel réduit au chômage reçoit l'allocation prévue par le décret du 23 novembre 1921, n° 167, sur la base de quatre jours par semaine de chômage exceptionnel.

Malgré la réduction de la consommation qui passa ainsi de 5 000 000 kw-h par jour à 3 500 000 kw-h, l'ingénieur Omodéo, commissaire régional pour l'énergie électrique en Lombardie, estima qu'il était urgent de réglementer l'écoulement de l'eau des réservoirs en limitant la production journalière des usines à 2 500 000 kw-h. Il institua jusqu'au 15 janvier 1922 un arrêt de deux jours par semaine pour la force motrice. Si à cette date la situation ne s'était pas améliorée, on devrait recourir à un chômage de trois jours par semaine. Le 30 décembre 1921, l'arrêté suivant fut pris à cet effet :

Arrêté du 30 décembre 1921 (Lombardie).

Vu les conditions dans lesquelles se trouvent les installations électriques, beaucoup plus graves qu'on ne pourrait le croire et — si l'on ne prend pas des mesures exceptionnelles — le danger d'arrêt prochain de toutes les industries de la région ; dans les provinces de Milan, Côme, Sondrio, Brescia, Bergamo, Pavia, Cremona, Mantova, Piacenza, Parma, Reggio Modena, Novara, Alexandria, Genova, Bologna, Ravenna, Forlì, Lucca, Massa-Carrara, à partir du 2 janvier 1922 et jusqu'à nouvel ordre, la production et la consommation d'énergie électrique est réglée comme il suit :

ARTICLE PREMIER. — Il est défendu de prélever chaque jour sur les réservoirs des Sociétés électriques Adamello, Lombardo, Conti, Dinamo, Breda, un volume d'eau respectivement supérieur au dixième de la quantité utilisée actuelle-

ment. Est également défendu tout prélèvement d'eau sur lesdits réservoirs pendant les jours fériés et, en particulier, pour la Société Adamello, tout prélèvement de 21 heures à 7 heures.

Pour les sociétés productrices. — **ART. 2.** — Les administrations productrices et distributrices sont tenues de maintenir leurs installations hydroélectriques en parfaites conditions de rendement, de manière à produire, dans la mesure compatible avec les restrictions imposées par l'article premier les concernant, la plus grande quantité possible d'énergie et ce, pour satisfaire non seulement aux besoins de leur propre clientèle, mais aussi à ceux des groupements électriques. Le règlement et la coordination de la production, de la répartition et de la distribution de l'énergie ne doivent pas être subordonnés aux intérêts de chaque administration, mais aux intérêts généraux de la région et sont laissés aux soins du commissaire. Au cas où les sociétés productrices ne se conformeraient pas à leurs obligations, le commissaire pourra ordonner la réquisition des installations comme aussi des groupements qu'il estimera nécessaire.

ART. 3. — L'obligation pour les installations de production thermique de fonctionner et les prescriptions de l'article 2 à cet égard, sont étendues aux consommateurs d'énergie électrique qui ont des installations particulières ; ceux-ci sont tenus, dans les cinq jours à dater de la publication de l'arrêté préfectoral, de déclarer leurs propres installations thermiques en indiquant le genre d'installations, la tension, la société électrique qui leur fournit l'énergie, l'insuffisance éventuelle à laquelle il devra être immédiatement remédié et la date où l'installation commencera à fonctionner. La déclaration sera faite au bureau d'inspection pour l'industrie et le travail. Les administrations distributrices d'énergie sont tenues de s'assurer de l'activité immédiate des installations thermiques et de dénoncer au commissaire celles qui ne rempliraient pas leurs obligations.

ART. 4. — Aux termes des dispositions de l'article premier du décret-loi du 1^{er} décembre 1921, n° 1 653, au cas où les consommateurs ne se conformeraient pas aux dispositions du précédent article, la fourniture d'énergie électrique sera supprimée et les installations thermiques seront réquisitionnées. Les frais de production de l'énergie thermique seront à la charge des administrations électriques et répartis suivant les prescriptions des décrets-lois royaux du 31 octobre 1919, n° 2262 et du 13 mars 1921, n° 288. Les consommateurs qui feront fonctionner des installations thermiques acquises après la promulgation de l'arrêté préfectoral, peuvent le faire indépendamment des prescriptions ci-dessus formulées.

Jours de repos. — **ART. 5.** — Les administrations distributrices suspendront la fourniture d'énergie pour tout usage industriel pendant deux jours par semaine en plus du jour de repos normal. Aux jours considérés comme jours ouvrables, le prélèvement d'énergie dans un but industriel ne durera quotidiennement pas plus de huit heures. Il ne sera pas prélevé d'énergie avant huit heures et n'en sera pas non plus dépensé après dix-sept heures, à l'exception des établissements qui, avant l'application des jours de repos, observaient l'horaire en employant une équipe double ou triple. Pour chaque jour de suspension ou de repos, soit ouvrable, soit férié, la prohibition du prélèvement est comprise comme s'étendant de minuit à minuit.

ART. 6. — En relation avec ce qui précède, toute personne employant de l'énergie électrique pour un usage industriel ne sera pas autorisée à prélever mensuellement plus de 66 pour 100 du nombre de kilowatts-heure qu'elle a consommé pendant le mois de novembre.

Cependant, lorsque le prélèvement du mois de novembre se sera écarté sensiblement du prélèvement normal, pour des causes dûment prouvées, la réduction de la consommation sera fixée par le commissaire.

ART. 7. — Les administrations qui distribuent l'énergie électrique produite par d'autres administrations, sont également tenues d'observer rigoureusement les restrictions imposées. Si elles dépassent pendant une semaine le prélèvement autorisé, l'excédent leur sera imputé sur la semaine suivante.

ART. 8. — Dans les zones qui, pour des raisons techniques ne peuvent disposer de l'énergie suffisante pour mettre à exécution ce qui a été stipulé dans les deux articles précédents, le commissaire pourra, en attendant des mesures ultérieures susceptibles d'améliorer les conditions de ces zones, — et tout en maintenant les jours de repos fixés — permettre aux sociétés distributrices et imposer aux consommateurs une réduction des heures ouvrables et du prélèvement d'énergie.

ART. 9. — Le commissaire pourra instituer des restrictions ultérieures pour les industries qui, par rapport à l'énergie absorbée, emploient une main-d'œuvre insuffisante et ordonner que le travail de nuit soit substitué au travail du jour. Les fabriques de ciment en tant qu'elles s'occupent de ce qui concerne le broyage, le pilage du riz, les fabriques de sucreries et de chocolat sont tenues de travailler seulement pendant les heures nocturnes et avec une fourniture d'énergie mensuelle qui ne devra pas dépasser 50 pour 100 de la consommation du mois de novembre. S'il le commissaire en décide ainsi, la même mesure pourra être appliquée aux industries pouvant être assimilées aux précédentes.

Les restrictions. — ART. 10. — Il est défendu d'employer de l'énergie électrique pour le chauffage industriel, pour alimenter des fours, de quelque genre que ce soit, des chaudières et autres appareils absorbant une puissance supérieure à 2 kw. L'énergie ainsi économisée ne peut intervenir dans le calcul des réductions stipulées à l'article 6. Le commissaire a la faculté d'ordonner l'emploi des fours Martin inutilisés qui se trouvent dans la zone et de les substituer aux appareils électriques, même s'ils n'appartiennent pas à la même administration. Leur déclaration, comme celle qui est stipulée à l'article 3, est obligatoire.

ART. 11. — En ce qui concerne l'éclairage, les dispositions suivantes seront appliquées :

L'éclairage public sera réduit dans une proportion de 30 pour 100 au moins. Dans certaines zones, où des nécessités techniques l'exigent, il pourra être supprimé après 23 heures.

L'usage de l'énergie électrique est défendu pour les réclames, les enseignes lumineuses, pour l'éclairage des vitrines, pour l'éclairage des magasins aux heures où ils sont fermés à la vente. Les services de vente publics devront fermer à 23 heures au plus tard, à l'exception de ceux soumis à l'obligation de fermer plus tôt que l'heure indiquée.

L'éclairage électrique dans les bureaux publics et privés, dans les habitations, les services publics, les boutiques et les magasins, dans les cercles, les cinémas et les lieux de divertissement tant publics que privés, dans les théâtres durant les entr'actes, ne peut dépasser l'intensité lumineuse que projette une bougie dans un espace de deux mètres cubes.

De toute façon, le prélèvement mensuel d'énergie devra toujours être inférieur de 30 pour 100 au moins à celui enregistré pendant le mois de novembre.

Il est défendu à ceux qui se servent de la lumière électrique d'avoir des lampes allumées entre 8 et 17 heures, exception faite pour les locaux qui ne reçoivent pas directement la lumière du jour.

Sauf dispositions contraires pour des raisons de santé ou de sécurité publique, l'éclairage privé à l'extérieur des bâtiments est défendu.

Sont interdits deux fois par semaine les spectacles dans les théâtres.

Sont défendus les divertissements publics nocturnes après vingt-quatre heures. Les fêtes, les réunions dans les cercles et dans les locaux privés prendront également fin à cette heure.

Aux jours ouvrables, aucun spectacle public, au théâtre, au cinéma, aux variétés, et en tous autres lieux de divertissement ne pourra commencer avant 20 heures.

Les prescriptions du présent article ne s'appliquent pas au cas où il sera pourvu à l'éclairage par ses propres moyens.

ART. 12. — L'emploi de l'énergie électrique est défendu pour le chauffage des locaux de travail, comme pour celui de tout milieu habité, ainsi que pour les cuisines, les bains et autres usages privés.

ART. 13. — Les dérogations aux restrictions indiquées ici pour la production et la consommation de l'énergie électrique ne seront autorisées que pour des motifs de nécessité absolue de caractère général et dans la stricte limite de cette nécessité. Elles devront être accordées par la Préfecture, après audition de l'inspecteur de l'Industrie et du Travail, pour des puissances inférieures à 100 kw. Pour des puissances supérieures, le commissaire sera entendu à la place de l'inspecteur.

ART. 14. — Le prélèvement de l'énergie électrique pour les chemins de fer électriques laissés à l'industrie privée, pour les tramways urbains et interurbains, pour les funiculaires, devra être réduit, par rapport au prélèvement hebdomadaire du mois de novembre, de 25 pour 100 au moins pour les tramways urbains de Milan et pour les tramways interurbains qui y aboutissent; de 40 pour 100 pour les tramways et les chemins de fer interurbains de toute la zone; de 60 pour 100 pour les tramways urbains des autres centres de la zone.

ART. 15. — L'inobservation des dispositions prescrites entraînera la suppression immédiate pour le consommateur de toute fourniture d'énergie électrique pour une période d'au moins cinq jours. Seront en outre appliquées les sanctions pénales prévues par l'article 4 du décret-loi du 28 décembre 1919, n° 2547.

ART. 16. — Les inspecteurs de l'Industrie et du Travail, les employés et agents de la police judiciaire sont chargés de faire respecter les dispositions prescrites.

Les administrations distributrices d'énergie électrique sont tenues de faire établir par leur propre personnel des vérifications et des contrôles et d'en référer à la Préfecture.

Le décret ci-dessus annule les décrets précédents.

Enfin, sur l'ordre du commissaire régional, la marche des usines thermiques fut intensifiée de façon à augmenter la production journalière de ces usines de 200 000 kw-h.

En ce qui concerne la suppression de travail imposée aux usiniers, le Gouvernement italien a décidé que l'attribution des quatre journées d'indemnité de chômage aux ouvriers inoccupés pendant tout le cours d'une semaine, en raison de la suspension de la fourniture d'énergie électrique aux usages industriels, serait payée par les soins des employeurs. Ceux-ci seront remboursés par l'Assemblée provinciale sur présenta-

tion d'états nominatifs régulièrement quittancés des bénéficiaires.

La situation est également critique dans le Piémont où les réservoirs sont presque partout à sec. La Société Haute-Italie qui dispose habituellement d'une puissance de 65 000 kw accuse une diminution de 25 000 kw. Des restrictions importantes ont été imposées à la clientèle, et un arrêté analogue à celui mis en vigueur dans la Lombardie vient d'être pris dans le Piémont avec application à partir du 16 janvier 1922.

V. — En Suisse, le Conseil Fédéral a dû prendre des mesures en prévision de la disette d'énergie électrique.

Pendant l'hiver 1920-1921, les débits des cours d'eau furent très inférieurs à la moyenne des dix dernières années ; il ne se produisit aucune crue d'hiver comme on l'avait constaté à plusieurs reprises précédemment.

La sécheresse s'étant prolongée pendant l'été, le Département fédéral de l'Intérieur convoqua à fin juillet 1921 la Commission fédérale de l'Economie hydraulique. Celle-ci reconnut qu'il fallait s'attendre au cours de l'hiver 1921-1922 à des étiages très bas par suite du manque de précipitations abondantes ; elle proposa de prescrire des mesures réglant pour l'hiver 1921-1922 la répartition et la fourniture de l'énergie électrique.

Constatant qu'avec le développement des accumulations, le moment était proche où les disponibilités du pays seraient de nature à dispenser l'autorité de toute intervention dans le domaine de la répartition et des restrictions, que, d'ailleurs les installations techniques pour l'entraide des usines existent déjà en grande partie, le Conseil fédéral fit voter par les Chambres l'arrêté d'urgence suivant :

Arrêté fédéral concernant l'approvisionnement du pays en énergie électrique.

L'Assemblée fédérale de la Confédération suisse, afin d'assurer pendant l'hiver 1921-1922 un approvisionnement suffisant et uniforme du pays en énergie électrique,

En vertu de l'article 24 bis, dernier alinéa, de la Constitution fédérale,

Vu le message du Conseil fédéral du 22 novembre 1921, Décrète :

ARTICLE PREMIER. — *Obligation pour les usines de s'entraider mutuellement.* — En cas de pénurie d'énergie, les usines sont tenues de se prêter aide mutuelle au moyen d'énergie électrique, pour autant que les installations techniques le permettent et dans la mesure nécessaire à un ravitaillement aussi uniforme que possible du pays.

ART. 2. — *Production d'énergie et restrictions.* — Les usines sont tenues, avant de restreindre leur fourniture d'énergie, d'utiliser complètement leurs sources d'énergie, notamment leurs réserves thermiques.

Si l'énergie produite par voie hydraulique ou thermique ainsi que l'énergie de secours ne suffisent plus à satisfaire aux besoins, les usines sont autorisées à restreindre, con-

formément aux dispositions des articles suivants, la fourniture de courant et même dans certains cas à la suspendre provisoirement.

ART. 3. — *Nature des restrictions.* — Les restrictions doivent être effectuées de manière à assurer une distribution de l'énergie permettant de sauvegarder autant que possible l'intérêt général.

Ces restrictions seront appliquées en premier lieu aux abonnés pour lesquels elles n'entraînent pas de conséquences économiques graves. On tiendra compte, autant que possible, des circonstances particulières à chaque exploitation atteinte.

ART. 4. — *Restriction de l'exportation d'énergie électrique.* — Les usines qui livrent de la force à l'étranger sont tenues de suspendre ou de restreindre cette livraison dans la mesure où les restrictions sont effectuées dans le pays.

ART. 5. — *Modification de contrats.* — Si les restrictions durent plus de quatorze jours, les usines sont tenues de réduire les garanties minima où les prix à forfait, en proportion des restrictions imposées aux abonnés.

En cas de différend, le juge ordinaire décide.

ART. 6. — *Mesures d'exécution.* — Le Conseil fédéral prend les mesures nécessaires pour assurer l'entraide des usines et permettre les restrictions exigées par les circonstances.

Il peut confier l'exécution de ces mesures au secrétariat général de l'Union des Centrales suisse d'Electricité.

Restent réservées au Conseil fédéral les dispositions spéciales relatives aux mesures de restrictions à appliquer dans l'exploitation des chemins de fer.

Le secrétariat général doit tenir le Département de l'Intérieur au courant de toutes les décisions qu'il prend. Le département a le droit d'annuler ou de modifier ces décisions.

ART. 7. — *Recours.* — Si le Conseil fédéral fait usage des compétences que lui confère l'article 6, alinéa 2, les intéressés peuvent recourir dans les dix jours auprès du Département de l'Intérieur contre les décisions du secrétariat général.

L'instance de recours décide si le recours a un effet suspensif ou non.

ART. 8. — *Contraventions.* — Les contraventions aux dispositions du présent arrêté, ainsi qu'aux décisions prises en vertu de cet arrêté, sont passibles de l'amende jusqu'à 10 000 fr.

Est applicable la première partie du code pénal fédéral du 4 février 1853.

La poursuite et le jugement des contraventions sont du ressort des cantons.

ART. 9. — *Application de l'arrêté.* — Le présent arrêté est déclaré urgent et entre en vigueur le 1^{er} janvier 1922 ; il est valable jusqu'au 30 avril 1922.

Le Conseil fédéral est chargé de l'exécution de cet arrêté.

En résumé, l'importance des restrictions de fourniture d'énergie électrique signalées ci-dessus fait ressortir la gravité de la répercussion que la sécheresse des années 1920-1921 a sur l'industrie de la houille blanche.

R. DE RHAM,
Ingénieur.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité
réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 5.

4 FÉVRIER 1922.

Chronique. — Sur les négatrons et les calculs des lignes à haute tension. — Pour le transport par voie ferrée des transformateurs à bain d'huile. — Les conférences-rapports sur la physique. — Bibliographies : Problèmes élémentaires avec schémas à l'usage des écoles et cours d'enseignement technique (Electricité industrielle), par F. HARARY; Les Echos, p. 145-146.

Section scientifique et technique. — Le Comité technique interallié de Radiotélégraphie, par G. MALGORN, p. 147. — Sur l'application du galvanomètre balistique aux essais de fer, par H. CHAUMAT, p. 155. — Revues, analyses et informations : Le problème de la relativité dans les diélectriques, p. 156. — Sur la dynamique de la relativité, p. 158.

Section industrielle. — Etalonnage des compteurs au lieu même de l'utilisation, par W. JANVIER, p. 159. — La production et l'utilisation de la vapeur (*suite et fin*), p. 162. — Revues, analyses et informations : Au sujet de l'unification des hautes tensions en Suisse, p. 168; Au sujet des lampes à arc à éclat intrinsèque élevé, p. 170.

Section économique et financière. — Les Chambres de métiers, p. 171. — Assemblées générales : Énergie électrique du Sud-Ouest, p. 172.

Section de législation. — Les modifications apportées depuis la guerre à la législation sur la propriété industrielle, par FERNAND-JACQ, p. 173.

Sur les négatrons et les calculs des lignes à haute tension. — Nous avons reçu sur ces deux sujets la lettre ci-dessous de M. A. Blondel.

Mon cher Directeur,

Permettez-moi, après lecture de votre très intéressante revue du 14 janvier 1922, de vous signaler deux remarques que me suggère ce numéro :

1^o *Les négatrons et biotrons.* — M. Scott-Tuggart a publié dans la « Radio-Review » de novembre 1921 un article, dont vous donnez un résumé, et dans lequel il décrit des montages de lampes valves soit jumelées extérieurement (biotrons), soit jumelées à l'intérieur même d'une ampoule (négatrons). Ces dispositifs ne sont que des cas particuliers un peu simplifiés de dispositifs plus généraux que j'ai imaginés dans le même but (produire une résistance négative et des caractéristiques tombantes) et décrits antérieurement (*breret français n° 118598*, 18 octobre 1919).

2^o *Calcul des lignes à haute tension au moyen d'abaques universels* — Vous voulez bien mentionner la récompense attribuée à un travail sur ce sujet par l'Institut Montefiore. Veuillez ajouter que ce travail est celui qui a été publié dans la « R. G. E. » du 31 juillet 1920, t. VIII, page 131 et dont, par conséquent, les lecteurs ont été les premiers à avoir connaissance; il a été complété par une étude plus détaillée (*R. G. E.*, 13 novembre 1920, t. VIII, p. 667), avec l'excellente collaboration de M. Lavanchy, qui a présenté au récent Congrès international des Réseaux un exposé général des propriétés des lignes à haute tension.

Peut-être serait-il opportun, à propos du même sujet, de signaler à ceux de vos lecteurs que la question intéresse, que la « R. G. E. » tient à leur disposition des abaques hyperboliques en deux couleurs fondés sur le même principe que ceux de Brown, mais plus étendus et plus pratiques pour le calcul des lignes à haute tension.

Veuillez agréer, etc..

Pour le transport par voie ferrée des transformateurs à bain d'huile. — Par suite de la détérioration d'objets provenant du suintement de l'huile des transformateurs en cours de transport, et de l'avarie survenue à certains transformateurs en raison du mauvais conditionnement de leur emballage, les compagnies de chemins de fer se refusaient à se charger du transport de ces transformateurs avec leur cuve remplie d'huile. A la suite de démarches faites par le Syndicat professionnel des Industries électriques, ces compagnies ont consenti à accepter ces expéditions sous certaines conditions qui sont indiquées dans la note suivante que nous adresse le Syndicat professionnel des Industries électriques :

Suivant accord intervenu entre le Syndicat professionnel des Industries électriques et les chefs d'exploitation des réseaux, accord déjà en vigueur à titre provisoire et qui deviendra applicable pour tous les réseaux à partir du 1^{er} février 1922, le transport par voie ferrée des transformateurs statiques à bain d'huile est assujéti aux conditions suivantes :

1^o Calage approprié des masses immergées supprimant, en cas de choc d'exploitation normale :

a) Toute pression sur les parois de la cuve du transformateur qui serait incompatible avec sa résistance propre, ainsi que tout mouvement pendulaire à l'intérieur de cette cuve;
b) Tout effort qui dépasserait la limite de résistance des pièces reliant la masse immergée à la cuve.

2^o Aménagement à la partie inférieure de l'emballage d'une cuve isolante remplie de sciure de bois, étant entendu que :

a) Celle-ci sera constituée par des planches suffisamment jointives pour qu'aucune perte de sciure ne puisse se produire. Le fond en sera constitué par une feuille métallique

ou à défaut comportera des traverses sur lesquelles reposera le socle du transformateur; l'intervalle entre ces traverses devra être également rempli de sciure de bois;

b) La hauteur de la cuve isolante devra être déterminée de telle façon qu'elle puisse contenir un volume de sciure égal au cinquième du volume d'huile transportée.

3° Les emballages devront être établis de telle façon qu'ils assurent une stabilité parfaite de l'ensemble et qu'ils présentent une solidité suffisante pour atteindre ce but. En particulier, ils seront munis d'arc-boutants proportionnés aux efforts à subir et donnant plus de rigidité à l'ensemble;

4° Les réseaux accepteront les transformateurs conditionnés comme il est dit ci-dessus. Ces transports étant régis par le droit commun, le chemin de fer conservera, en cas d'avarie, les garanties que ce droit commun lui accorde.

Les conférences-rapports sur la physique : Séance du 24 janvier 1922. — Dans sa très intéressante série de conférences, M. de Broglie nous avait exposé les lois des rayons X, et montré le rôle très remarquable des notions de quanta, qui permettent un classement logique de tous les faits expérimentaux.

Avec M. Léon Brillouin, nous abordons les théories qui se sont développées sur ces hypothèses de quanta; il sera impossible, en trois conférences, d'épuiser un sujet qui a pris un développement si considérable. Le conférencier se placera donc au point de vue suivant : préciser nettement les postulats de quanta, indiquer la méthode logique qu'ont suivie les auteurs de la théorie, et les importants résultats qu'ils en ont tiré; ce sera, en somme, fournir les idées générales, le canevas, grâce auquel les auditeurs pourront, s'ils le désirent, aborder l'étude des ouvrages plus détaillés et des mémoires originaux.

Pour cette fois, le sujet traité était l'étude des lois du corps noir, c'est-à-dire du rayonnement lumineux émis par un corps en fonction de la température; ce fut là le berceau de la théorie du quanta, et voici bientôt vingt ans que Planck formula, pour l'interprétation des lois du corps noir, ses audacieuses hypothèses.

Tous les exposés que l'on possède sur les questions sont encombrés de polémiques pour et contre les quanta. En face des récents et remarquables succès de la théorie, le doute n'est plus permis; il était donc utile de reprendre cet exposé, en débarrassant les apparentes contradictions, et groupant logiquement les raisonnements très variés qu'ont donné les divers auteurs.

Le conférencier a ainsi passé en revue les lois générales du corps noir, auxquelles sont attachés les noms de Kirchhoff, Stefan, Boltzmann et Wien. Les définitions relatives au corps dispersif ont fait l'objet d'un examen spécial. — Dans sa prochaine conférence, M. Brillouin fera une description de l'atome de Bohr, et montrera comment on peut en tirer une démonstration de la formule de Planck pour le corps noir.

Bibliographie : Problèmes élémentaires avec schémas à l'usage des écoles et cours d'enseignement technique (Électricité industrielle), par F. HARANY, professeur d'électricité et de technologie industrielle à l'École municipale professionnelle Dorian et à l'École Edgar-Quinet (Paris) (1). — Ce recueil de problèmes, dit l'auteur, a été spécialement composé à l'intention des nombreux auditeurs des cours techniques ou professionnels et aussi de tous ceux qui sont

obligés d'étudier l'électricité industrielle sans professeur. Il nous paraît également susceptible de rendre des services aux élèves de l'enseignement secondaire: aux élèves de première pour la partie relative au courant continu et aux élèves de mathématiques élémentaires pour la partie relative au courant alternatif; enfin, le maître y trouvera des sujets tout préparés pour des exercices oraux. Il y a deux sortes de problèmes, ceux qui sont résolus complètement et ceux dont les énoncés sont simplement suivis des résultats. La généralité des exercices paraissent bien choisis et sont présentés dans l'ordre normal du cours; si, pour quelques-uns, les énoncés sont quelquefois un peu longs, il est toujours facile de se les assimiler quand même grâce aux schémas très détaillés qui les accompagnent: l'auteur insiste particulièrement sur le grand profit qu'un étudiant retirera de figures bien dessinées; souvent un schéma clair permet de trouver la solution d'une question à première vue compliquée.

En appendice, on trouvera des courbes de magnétisme de quelques échantillons de fer et d'acier, une table des lignes trigonométriques et, enfin, un tableau des schémas et signes conventionnels utilisés en électricité. Nous terminerons la présentation de ce recueil très recommandable par quelques observations sur les symboles employés par l'auteur pour désigner les unités électriques; à la prochaine édition, qui ne saura tarder, l'auteur s'inspirera de la loi du 2 avril 1919 qui impose l'emploi des lettres majuscules pour ces symboles; de plus cette lettre s'écrit à la suite du nombre (pour toutes les unités, d'ailleurs) et non pas en exposant; le symbole de l'ohm est la lettre O majuscule, mais l'usage prévalant d'écrire ce nom en entier. Enfin, page 7, dans la définition de l'ohm international, il ne faut pas faire figurer la section; c'est la résistance à 0° d'une colonne de mercure de 106,3 cm de longueur et pesant 14,4521 g; de même, le nombre 96 600 coulombs est remplacé par 96 570. — B. C.

Bibliographie : Les Echos (1). — Cette revue commerciale hebdomadaire, dont la publication avait été interrompue pendant la guerre, vient de retracer, dans son numéro spécial de Noël, les grandes lignes de son programme, programme d'action et de réalisation, l'ambition et la devise de cet organe étant de défendre les droits des commerçants et des industriels, en toutes circonstances.

Elle rappelle, en quelques lignes, les résultats obtenus au sujet des campagnes menées par elle dans le domaine économique, le domaine fiscal, en matière douanière et, à un point de vue plus général, en matière commerciale, depuis la reprise de sa publication.

Dans ce numéro, qui contient 142 pages, on trouvera des articles documentés sur l'égalité fiscale, l'Exposition coloniale de Marseille, la création d'un office commun d'exportation, les gares françaises et étrangères, nos débouchés sur le marché canadien, la verrerie, la lingerie et l'industrie des jouets français, la propagation de la langue française, etc.

Ce même numéro publie une étude sur le remboursement de l'impôt sur les affaires traitées avant le 1^{er} juillet 1920 et sur la révision des droits de douane.

Une carte du monde donnant l'indication pratique des conditions de prix et de durée des voyages de Paris à tous les points du globe, ainsi que des reproductions photographiques des grands magasins du monde entier; et un fac-similé des principaux journaux techniques de France et de l'étranger, complètent ce numéro destiné à être envoyé dans de nombreux pays.

(1) 1 volume, 31 cm X 14 cm, de vi-361 pages avec 167 figures dans le texte. Dunod, éditeur, 47 et 49, quai des Grands-Augustins, Paris (VI^e). Prix broché: 11 fr.

(1) Revue hebdomadaire paraissant tous les mercredis. Format 31 cm X 25 cm. Rédaction et administration, 2 et 4, rue Martel, Paris X^e. Abonnement: 50 fr par an.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Le Comité technique interallié de Radiotélégraphie

A la suite d'une décision prise à la Conférence de Washington, un Comité technique composé de représentants des Etats-Unis, de la France, de la Grande-Bretagne, de l'Italie et du Japon, s'est réuni à Paris du 21 juin au 22 août 1921, pour examiner une série de questions techniques qui avaient été formulées à Washington et auxquelles on n'avait pu répondre à ce moment. Le Comité a décidé de prier le Gouvernement français de vouloir bien donner communication du document enregistrant ses conclusions, à tous les pays qui doivent être invités à la prochaine Conférence internationale. Il a également exprimé le vœu que les décisions techniques adoptées soient portées à la connaissance du public au moyen de la presse scientifique, ceci, soit afin de les soumettre à la critique des spécialistes de chaque pays, soit afin d'obtenir leur collaboration dans l'étude des nombreux problèmes non encore résolus. Il nous a donc semblé opportun de nous conformer au vœu du Comité et d'exposer succinctement quelques-unes des questions les plus importantes étudiées, avec l'espoir que les techniciens français continueront à apporter leur aide précieuse à la résolution des principaux problèmes exposés par le Comité.

Après s'être réuni une première fois à Washington, le Comité technique interallié de Radiotélégraphie s'est réuni de nouveau à Paris et a commencé vers la fin de juin une série de réunions en vue d'étudier les nouveaux projets de réglementation internationale qu'il y aurait lieu de discuter aux prochaines conférences internationales télégraphiques et radiotélégraphiques. Ces réunions, inaugurées à la Sorbonne par M. Paul Laffont, sous-secrétaire d'État aux Postes et Télégraphes, ont eu lieu sous la présidence de M. le général Ferrié, inspecteur général des Services de la Télégraphie militaire et des Transmissions; elles se sont terminées le 22 août 1921. Deux sous-commissions principales s'étaient partagées les questions à étudier.

Les délégations des cinq puissances étaient composées de la manière suivante :

DÉLÉGATION AMÉRICAINE. — *Président* : Major general George O. Squier.

Vice-président : Rear admiral Thomas P. Magruder.

Membres : **Captain** George R. Evans; lieutenant-commander Edward-L. Loftin; major J.-O. Mauborgne; lieutenant-commander Tunis A.-M. Craven; Dr Louis Cohen; Dr J.-H. Dellinger; M. F.-P. Guthrie.

Secrétaire : Dr A.-E. Kennelly.

DÉLÉGATION FRANÇAISE. — *Président* : général G. Ferrié.

Membres : M. H. Abraham; M. H. Dennerly; capitaine de vaisseau Lagorio; M. Mesny; capitaine de corvette Noël; capitaine Moriceau; capitaine Franck.

DÉLÉGATION ANGLAISE. — *Président* : Group. capt. L.-F. Blandy.

Membres : Lt-Col. B.-C. Gardiner; M. E.-H. Shaughnessy; major A.-E. Lee; capt. J.-A.-V. Echevarri.

DÉLÉGATION ITALIENNE. — *Président* : Prof. G. Vallauri.

Membres : Col. O. Bardeloni; edt. G. Gabetti; edt. G. Raineri-Biscia.

DÉLÉGATION JAPONAISE. — *Président* : M. Sannosuke Inada.

Membres : Général de brigade Tomoji Shizuma; capitaine

de vaisseau Jun-ichi Kiyokawa; M. Mitsuru Sayeki; capitaine de frégate Nobuto Tsuru; capitaine de corvette, ingénieur naval Ukichi Matsuki; capitaine de corvette Masato Hattori; commandant d'artillerie Zenshichi Ishii; A. Suteji Suzuki.

Nomenclature radiotechnique. — Le Comité interallié a décidé d'établir la liste d'expressions techniques françaises et anglaises qui, bien qu'étant à strictement parler du ressort de la Commission électrotechnique internationale, lui a paru d'une utilité immédiate en vue d'une rédaction claire et systématique de ses propres travaux.

1° Au lieu de « télégraphie sans fil » et de termes dérivés, le Comité propose l'emploi du préfixe « radio », c'est-à-dire des noms tels que radiotélégraphie, radiotéléphonie, radiocommunications, radiotechnique, etc.;

2° Au lieu de « parasites » en français et de « statics » ou « X's » en anglais, employer « perturbations atmosphériques », ou en abrégé « atmosphériques », et « atmospheric disturbances » ou « atmospherics ».

3° Comme dénomination générique de la lampe thermoionique d'un nombre quelconque d'électrodes, et dans tous ses modes de fonctionnement, employer

Tube électronique..... Electron tube.

4° Comme dénomination spécifique de la lampe à trois électrodes, employer

Triode..... Triode.

5° Comme dénomination d'un triode utilisé dans un mode de fonctionnement spécial, employer :

Triode détecteur..... Rectifier triode.

Triode amplificateur..... Amplifier triode.

Triode générateur..... Generator triode.

6° En ce qui concerne les couplages des ensembles de transmission et de réception, employer :

| | |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Couplage par résistance... | Resistance coupling. |
| Couplage par induction ou couplage inductif..... | Inductive coupling. |
| Couplage autoinductif..... | Autoinductive coupling. |
| Couplage par capacité..... | Capacity coupling ou capacitive coupling. |

7° En parlant des instruments servant à déterminer la direction de propagation des ondes, employer :

| | |
|----------------------|--------------------------------------|
| Radiogoniomètre..... | Direction finder ou Radiogoniometer. |
|----------------------|--------------------------------------|

8° Une antenne est un conducteur ou un ensemble de conducteurs électriques utilisé pour émettre ou recevoir des ondes électromagnétiques. Ce terme ne doit pas être entendu comme comprenant les supports mécaniques des conducteurs.

9° En parlant des supports mécaniques d'une antenne, employer pour des supports non haubanés

| | |
|-----------------------|---------|
| Pylônes ou tours..... | Towers. |
|-----------------------|---------|

pour des supports haubanés

| | |
|----------------------------------------------------------|--------|
| Pylônes ou mâts (selon qu'ils sont ou non en treillis).. | Masts. |
|----------------------------------------------------------|--------|

10° Employer :

| | |
|------------|-----------------------------------------------|
| Cadre..... | Coil antenna et quelquefois en abrégé : coil. |
|------------|-----------------------------------------------|

11° La hauteur de rayonnement ou « radiation height » d'une antenne, est définie comme étant numériquement égale à la moitié de la longueur du doublet équivalent.

12° Le produit ($h \times I$) de la hauteur de rayonnement d'une antenne et du courant à la base de cet antenne, s'exprime en mètres-ampères qui s'écrivent m-a et non ma.

13° En écrivant les valeurs numériques des fréquences en cycles par seconde ou en périodes par seconde, on doit employer les abréviations suivantes :

| | |
|--------------------------------|--------|
| Pour cycles par seconde..... | c : s |
| kilocycles par seconde..... | kc : s |
| mégacycles par seconde..... | Mc : s |
| Pour périodes par seconde..... | p : s |
| kilopériodes par seconde..... | kp : s |
| mégapériodes par seconde..... | Mp : s |

14° Au sujet de l'application des phénomènes de haute fréquence à la télégraphie et à la téléphonie avec fil, les représentants de France, Grande-Bretagne et Italie ont fait connaître que les termes « télégraphie à haute fréquence » ou « téléphonie à haute fréquence » ont déjà été adoptés dans leur pays respectif. Les représentants japonais ont également indiqué leur préférence pour ces termes, quoique d'autres termes aient

été utilisés au Japon. La délégation américaine a fait connaître ses préférences pour le terme « line radio » (radiotélégraphie sur ligne).

Il y a des lacunes importantes non comblées par le Comité. C'est ainsi que, pour indiquer les ondes non amorties, les Anglais emploient le terme « continuous waves », les Français le terme « ondes entretenues » et les Italiens disent « onde persistente », ces trois termes n'ayant pas exactement la même signification. Il conviendrait à la première occasion de se mettre d'accord sur un adjectif unique qui pourrait être par exemple « continues ». De même, il faudrait choisir entre « redresseur » et « détecteur ». Enfin, quand nous parlons d'un « cadre », les Anglais disent « coil antenna », et les Italiens « antenna a telaio » ; il serait bon d'adopter un terme unique.

Comme on le voit, au point de vue de la nomenclature (ainsi que du choix des symboles et des représentations schématiques, le travail du Comité de Paris n'a été qu'un travail partiel et préliminaire qu'il serait désirable de voir reprendre et compléter dans un avenir prochain.

FRÉQUENCES ET LONGUEURS D'ONDES. — Il a été estimé qu'il y a avantage en bien des cas à employer les fréquences de préférence aux longueurs d'ondes. Le Comité donne une table établissant la correspondance entre ces données. Chaque groupe de deux nombres se faisant face dans ce tableau fait connaître la fréquence exprimée en kilopériodes par seconde (kp : s), en fonction de la longueur d'onde exprimée en mètres et inversement.

Classification des ondes. Décrément équivalent. Interférence. — Le problème de la classification s'imposait en ce qui concerne la distribution nécessaire des diverses fréquences (longueurs d'onde) et des divers types de transmission aux différents services (mobiles, fixes, militaires, spéciaux). Les tentatives faites en vue d'établir une classification unique qui aurait tenu compte de la nature des ondes et de leur pouvoir d'interférence furent vaines et l'on convint de faire une double classification en tenant compte séparément des deux critères.

La classification selon la nature des ondes a conduit à définir deux types A et B, dont le premier est subdivisé en trois sous-types A_1 , A_2 et A_3 . Les définitions proposées sont les suivantes.

Type A. — *Ondes entretenues.* — Ondes qui, en régime permanent sont périodiques, c'est-à-dire telles que leurs oscillations successives sont identiques.

Type A_1 . — *Ondes entretenues manipulées.* — Ondes entretenues dont l'amplitude ou la fréquence varie sous l'effet d'une manipulation télégraphique.

Type A_2 . — *Ondes entretenues modulées à fréquence audible.* — Ondes entretenues dont l'amplitude ou la fréquence varie suivant une loi périodique de fréquence audible.

Type A_3 . — *Ondes entretenues modulées par la*

parole. — Ondes entretenues dont la fréquence ou l'amplitude varie en suivant les vibrations caractéristiques de la parole.

Type B. — *Ondes amorties.* — Ondes composées de trains successifs dans lesquels l'amplitude des oscillations après avoir atteint son maximum, décroît ensuite graduellement.

Ces définitions ne sont pas relatives aux types des appareils d'émission ; elles n'excluent pas, par exemple, du type A₁, les émissions des appareils à étincelles qui produiraient de véritables ondes entretenues ; elles n'excluent pas non plus du type A₂, les émissions des appareils à étincelles qui produiraient de véritables ondes entretenues modulées.

La classification proposée n'a pas la prétention d'être parfaite, ni définitive et il est facile de se rendre compte qu'il peut être difficile d'y faire rentrer tous les types spéciaux (par exemple, les ondes bimodulées avec une modulation et une fréquence ultraaudible). De toute façon les types proposés offrent, en général, un moyen clair et simple pour dénommer la nature des ondes et permettent aussi de préciser ultérieurement le caractère d'une émission, en ayant recours à un fractionnement des sous-types suivant la rapidité de la manipulation, l'usage de l'onde de repos, la manipulation ou

la modulation sur l'amplitude ou sur la fréquence.

Dans chaque type, les ondes sont classées selon le degré de brouillage auquel elles donnent lieu à toute distance.

Une émission entrera dans une classe donnée suivant le brouillage qu'elle produit, quelles qu'en soient les causes : manipulation à grande vitesse, modulation, onde de compensation, décroissement réel, harmoniques, variations de fréquence du générateur, etc.

Actuellement, quatre de ces classes sont admises.

Pour une première approximation, on peut utiliser pour distinguer ces classes une quantité appelée *décroissement équivalent* que nous allons définir. Ces quatre classes sont alors réparties comme suit :

Classe I. Décroissement équivalent compris entre 0 et 0,005.

Classe II. Décroissement équivalent compris entre 0,005 et 0,02.

Classe III. Décroissement équivalent compris entre 0,02 et 0,08.

Classe IV. Décroissement équivalent compris entre 0,08 et 0,16.

La table suivante donne, pour chaque type d'ondes, les classes limites qui devraient être admises dans les différentes gammes de fréquences.

| ONDES | | TYPE A ₁ | TYPE A ₂ | TYPE A ₃ | TYPE B |
|---------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|------------|
| fréquence en kp : s | longueur en m | | | | |
| ∞ à 300 | 0 à 1 000 | Classe I. | Classe II. | Classe III. | Classe IV. |
| 300 à 105,5 | 1 000 à 2 850 | Classe I. | Classe II. | Classe III. | Classe IV. |
| 105,5 à 37,5 | 2 850 à 8 000 | Classe I pour la manipulation à la main. Classe II pour la manipulation à grande vitesse. | Classe III. | Classe IV. | Classe IV. |
| 37,5 à 0 | 8 000 à ∞ | Classe II. | | | |

DÉCRÉMENT ÉQUIVALENT. — Définissons le « décroissement équivalent ». On sait que, si l'on met en présence d'un circuit parcouru par un courant oscillatoire un autre circuit résonant (contenant capacité et self-inductance et dans lequel les pertes d'énergie sont réduites au minimum), et si l'on fait varier la fréquence propre de ce dernier, on peut relever, en fonction de cette fréquence et avec des instruments appropriés, une courbe des carrés des courants induits qui s'appelle « courbe de résonance ». La forme de cette courbe dépend, soit de la façon dont varie le courant primaire, soit de la résistance totale du circuit résonant ou secondaire (ou de l'ensemble des pertes d'énergie qui accompagnent le passage du courant dans le secondaire).

Le Comité a retenu, tout d'abord, qu'il est en général possible d'éliminer l'influence du circuit résonant sur la forme de la courbe de résonance, c'est-à-dire ou de rendre négligeables les pertes dans le secondaire, ou de corriger la courbe de résonance de façon à éliminer les effets de ces pertes ; il a donc basé sa définition sur une telle courbe de résonance. Il a retenu, en outre, que, opérant pendant une transmission effective, il est possible de tracer une courbe de résonance « moyenne » dont la forme soit influencée par plusieurs des causes pour lesquelles une transmission faite normalement sur une certaine longueur d'onde (ou sur une certaine fréquence) tende effectivement à gêner les transmissions sur des longueurs d'onde voisines, occupant ainsi

plutôt une zone ou bande de longueurs d'onde qu'une longueur d'onde unique. Parmi les causes qui influent sur la forme de la courbe de résonance moyenne, il suffit de citer : la rapidité et le système de manipulation, les variations de fréquence du générateur pendant un trait, l'amplitude et la fréquence de modulation, la présence de l'onde de compensation, le décrément réel, etc.

Pour passer de la courbe de résonance au décrément équivalent, on a décidé « conventionnellement » de se servir de la formule

$$\delta = \pi \frac{f_1 - f_2}{f_r} \sqrt{\frac{I_r^2}{I_r^2 - I^2}}$$

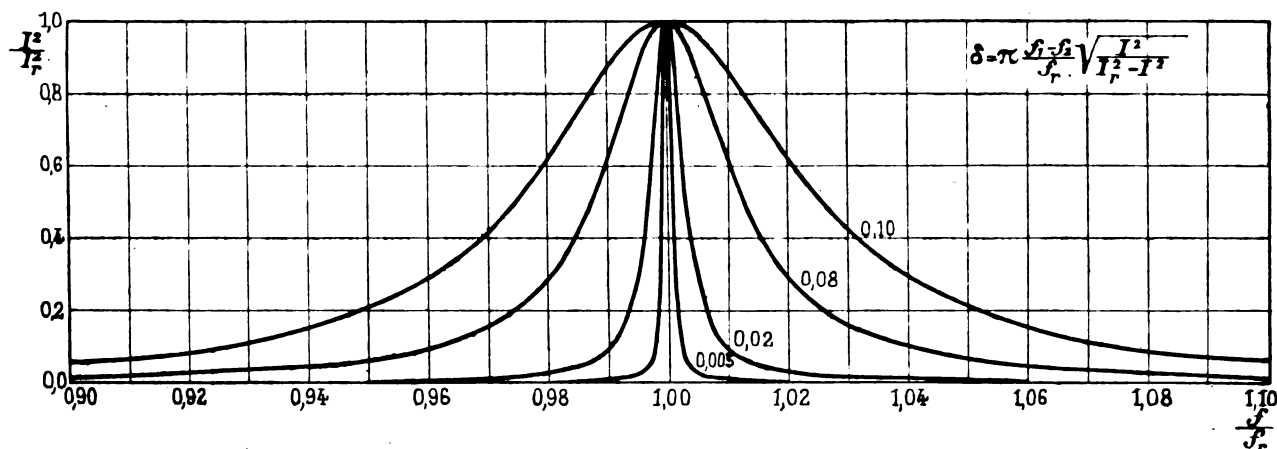


Fig. 1.

transmission donnée satisfaisait à l'équation adoptée, c'est-à-dire donnait lieu à une valeur constante de δ , celle-ci pourrait être prise comme « décrément équivalent ». Mais, en général, il n'en est pas ainsi pour les transmissions ordinaires; on a donc admis, toujours « conventionnellement », de prendre comme décrément équivalent la valeur maximum que l'on puisse tirer de la formule ci-dessus, en l'appliquant à la courbe de résonance dans un intervalle bien défini. Les limites de cet intervalle ont été fixées, en indiquant que la valeur I^2 ne doit pas être supérieure à $\frac{I_r^2}{2}$ et que les fréquences ne doivent pas être extérieures à l'intervalle de $0,9 f_r$ à $1,1 f_r$. Pour préciser l'application de cette règle, il convient de dire que l'on prendra pour I_r^2 l'ordonnée maximum de la courbe de résonance; mais quant à f_r , on ne dit pas si l'on doit prendre l'abscisse correspondant à une telle ordonnée maximum, ou (ce qui est peut-être préférable), la valeur $\frac{f_1 + f_2}{2}$. De toute façon, les différences dues à ce choix ne pourront être que très petites.

Il faut toutefois remarquer que la recherche de la valeur maximum de δ , entre toutes celles que l'on peut calculer pour diverses valeurs de I^2 et pour les

Comme on le sait, cette formule n'est qu'approximative, même dans le cas théorique de lois d'amortissement purement exponentielles. Elle correspond à une courbe de résonance symétrique par rapport à l'ordonnée qui passe par l'abscisse f_r (à laquelle correspond l'ordonnée maximum I_r^2), tandis que f_1 et f_2 représentant un couple quelconque d'abscisses symétriques par rapport à f_r ($f_1 + f_2 = 2 f_r$), pour lesquelles l'ordonnée I^2 est la même. La forme des courbes de résonances conventionnelles qui satisfont à l'équation adoptée pour quelques valeurs données de δ , est indiquée figure 1.

Si la courbe de résonance (moyenne et débarrassée des effets des pertes dans le circuit de mesure) relative à une

couples correspondants de valeurs de f_1 et f_2 dans tout l'intervalle indiqué, peut être très laborieuse. Il serait donc désirable, d'après Vallauri⁽¹⁾, de modifier légèrement la définition du décrément équivalent, en prenant une valeur qui sera, en général, peu supérieure à celle définie plus haut, à savoir le décrément qui correspond à la plus basse courbe de résonance conventionnelle, qui ne soit jamais inférieure à la courbe donnée, dans tout l'intervalle délimité par les inégalités

$$I^2 \leq \frac{1}{2} I_r^2, \quad f_1 - f_2 \leq \frac{1}{10} (f_1 + f_2). \quad (a)$$

Cette nouvelle définition est représentée figure 2. Les courbes 1 et 2 représentent deux courbes de résonance moyenne, débarrassées des effets du résonateur. La courbe 1 est telle que la valeur maximum de δ (égale à 0,0185) s'obtienne pour $I^2 = \frac{1}{2} I_r^2$, comme on le remarque en observant que la courbe 1 se maintient pour $I^2 < \frac{1}{2} I_r^2$ toujours au-dessus de la courbe de

(1) *Elettrotecnica*, 5 novembre 1921, t. VIII, p. 658-664; *Radio-Review*, janvier 1922, t. III, p. 17-24.

résonance conventionnelle correspondant à $\delta = 0,0185$. Par contre, la courbe 2, tout en donnant lieu pour $I^2 = \frac{1}{2} I_r^2$ à une valeur de δ inférieure à celle de la courbe 1, permet de calculer sur des ordonnées plus basses des valeurs de δ sensiblement plus élevées. En examinant la figure, on voit que seule la courbe de résonance conventionnelle correspondant à $\delta = 0,0205$ (tangente à la courbe 2 en A et en B) ne descend pas au-dessous de la courbe 2 pour $I^2 < \frac{1}{2} I_r^2$. Par conséquent,

le décrement équivalent de la première transmission serait 0,0185 et celui de la seconde 0,0205, bien que, selon les propositions du Comité de Paris, le décrement de la seconde soit très légèrement inférieur. La coïncidence entre la valeur obtenue, d'après la définition proposée à Paris et la valeur déduite de la variante ci-dessus, ne se produirait que dans le cas où les deux points de tangence A et B de la figure 2 correspondraient à deux valeurs égales de l'ordonnée.

La conception du « décrement équivalent », introduit et défini de la façon indiquée permet, comme on

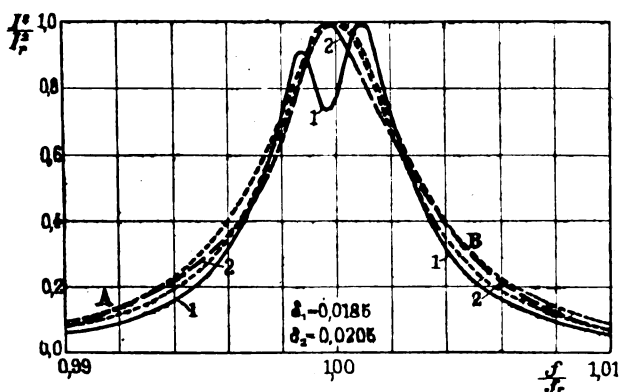


Fig. 2.

la vu, de tenir compte dans une certaine mesure du « pouvoir d'interférence » d'une émission donnée. Il existe, cependant, d'autres causes d'interférence qui peuvent rendre indésirables certaines émissions, bien que n'influant pas sur leur décrement équivalent. Parmi ces causes d'interférence, les plus importantes sont :

1° Les variations lentes de fréquence (ou de longueur d'onde) dues par exemple à un réglage imparfait de la vitesse des générateurs électro-mécaniques ;

2° L'émission excessive d'énergie sur des fréquences différentes de la fréquence de transmission effective (harmoniques, etc...).

A ce sujet, le Comité n'a pas estimé avoir actuellement des éléments suffisants pour fixer des règles précises et il s'est limité à recommander aux administrations d'établir elles-mêmes les limites maxima de tolérance, soit pour les oscillations de faible fréquence, soit pour l'intensité du champ électromagnétique pro-

duit à une certaine distance de l'antenne émettrice et mesuré sur des fréquences extérieures à l'intervalle ($0,9 f_r$ à $1,1 f_r$) considéré précédemment pour la définition du décrement équivalent. Il faudra décider également si ces limites du champ dû à des émissions secondaires seront à fixer en valeur absolue ou bien en valeur relative par rapport au champ produit par l'émission principale, ou encore si la distance à laquelle devra se faire la mesure sera exprimée en kilomètres ou bien en longueurs d'onde ; en d'autres termes, il faudra déterminer si la tolérance relative aux émissions secondaires devra être indépendante ou dépendante de l'importance de la station. Il semblerait que la seconde alternative soit plus rationnelle, puisqu'à égalité de distance il paraît possible de tolérer une interférence plus forte de la part d'une grande station que de la part d'une petite.

Le Comité recommande que les mesures pour la détermination de la courbe de résonance moyenne, ainsi que celles pour l'évaluation du champ produit par des émissions secondaires, soient faites autant que possible à une certaine distance de l'antenne, par exemple, de l'ordre d'une longueur d'onde, et cela afin d'atténuer dans les résultats les effets des influences éventuelles et des perturbations locales. Tout ceci nécessite le développement d'une technique de mesures ; aussi le Comité a-t-il exprimé le vœu que de nombreuses expériences soient faites dans divers pays, afin d'aider la future Conférence internationale dans la fixation des limites à adopter.

Caractéristiques des stations radiotélégraphiques et de leurs émissions. — Portée conventionnelle.

— Les définitions adoptées démontrent la nécessité d'un « étalon de longueur d'onde », c'est-à-dire d'une méthode pour étalonner les ondemètres. Il est évidemment important, afin de réduire au minimum les interférences et d'utiliser complètement les gammes de longueurs d'onde (ou de fréquences) disponibles, que la mesure de ces longueurs d'onde soit faite avec la plus grande précision possible et que l'on profite de tout nouveau perfectionnement de la technique pour réduire au minimum les tolérances. Comme point de départ pour l'étalonnage des ondemètres, il faut, naturellement, une méthode de mesure absolue des fréquences, et c'est ce qu'a indiqué le Comité de Paris qui a pris comme exemple la méthode du multivibrateur Abraham et Bloch.

Mais il ne suffit pas de considérer le cas d'une émission, autorisée sur une certaine longueur d'onde, et pour laquelle on devra s'efforcer d'obtenir que la longueur d'onde moyenne de la courbe de résonance corresponde avec une exactitude suffisante à la valeur indiquée. Il faut aussi envisager le cas où serait attribuée à un pays donné, ou à un service donné, ou à une station donnée, non plus une seule longueur d'onde, mais bien une gamme ou bande de longueurs d'onde. Dans ce cas, les émissions devront se faire sur des longueurs d'onde moyennes suffisamment lointaines

des limites de la gamme, de façon à ne pas provoquer d'interférences excessives aux dépens des services qui opèrent sur les gammes adjacentes. Mais le Comité a estimé ne pas avoir suffisamment d'éléments pour fixer des valeurs précises.

En ce qui concerne les antennes, pour mettre en valeur les progrès récents accomplis dans la technique des mesures de rayonnement et pour contribuer à leur développement ultérieur, le Comité a décidé que l'on doit donner, dans la nouvelle rédaction de la nomenclature des stations fixes et terrestres, les indications relatives au type d'antenne, à la capacité électrostatique, à la longueur d'onde naturelle, à la hauteur de rayonnement, au type d'appareil générateur et à l'intensité normale du courant dans l'antenne.

Restait à définir la portée d'une émission. On sait qu'un tel élément ne peut pas se définir de manière absolue, puisqu'il dépend à son tour de divers éléments entièrement indépendants de l'émetteur, à savoir : 1° les conditions physiques, constamment variables, de l'espace dans lequel se fait la propagation ; 2° les caractéristiques de l'antenne et des autres appareils employés pour la réception. Nous ne pouvons donc parler que d'une *portée conventionnelle*.

Puisqu'il est actuellement possible d'évaluer avec une approximation suffisante la puissance rayonnée par une antenne, la définition de la portée conventionnelle nécessite :

1° L'adoption d'une *formule de propagation* ;

2° La fixation d'une valeur limite de l'intensité du champ électromagnétique nécessaire pour permettre la réception. Comme formule de propagation on ne dispose actuellement que de relations empiriques parmi lesquelles la plus acceptable, provisoirement tout au moins et pour les faibles et moyennes distances, semble être celle d'Austin-Cohen, à laquelle on peut donner la

forme suivante (en négligeant les effets de la courbure terrestre) :

$$hI = \frac{10^{-6}}{377} \epsilon \lambda d e^{-\frac{0,00047 d}{\sqrt{\lambda}}}$$

Une autre formule équivalente est :

$$hI = \frac{\epsilon d}{1257 f} e^{8,76 d \sqrt{f \times 10^{-6}}}$$

Dans ces formules, λ est la longueur d'onde et d , la distance exprimée en mètres ;

f , la fréquence en kilopériodes par seconde ;

h , la hauteur de rayonnement de l'antenne en mètres ;

i , l'intensité à la base de l'antenne, en ampères ;

ϵ , la force électromotrice induite par mètre de hauteur dans l'antenne de réception, en microvolts.

Quant au choix de l'intensité du champ nécessaire à la réception, le Comité s'est borné à considérer seulement le cas des petites stations côtières et mobiles ; pour ces dernières, la définition de la portée est particulièrement importante à cause des règlements de sauvetage. Pour les services qui se font encore normalement avec des ondes amorties, le Comité a jugé bon de prendre pour le calcul de la portée la valeur $\epsilon = 150 \mu\text{v/m}$ (c'est-à-dire $\epsilon = 150$ microvolts par mètre).

Mais, comme on le voit sur la formule, le calcul de la portée nécessite aussi la connaissance de la hauteur de rayonnement h , qui elle-même exige la mesure de la force électromotrice par mètre ϵ . Cette mesure devrait être faite à une distance supérieure à une longueur d'onde et, autant que possible, inférieure à 10 longueurs d'onde.

Comme exemple de l'application des formules ci-dessus, la table suivante a été calculée en donnant à ϵ la valeur de 150 microvolts par mètre.

| ONDES | | $d = 100 \text{ km}$ | | $d = 150 \text{ km}$ | | $d = 200 \text{ km}$ | | $d = 250 \text{ km}$ | | $d = 300 \text{ km}$ | |
|---------------|----------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| f kp : s | λ m | $h \times I$ m-A | $h \times I_{\text{max}}$ m-A | $h \times I$ m-A | $h \times I_{\text{max}}$ m-A | $h \times I$ m-A | $h \times I_{\text{max}}$ m-A | $h \times I$ m-A | $h \times I_{\text{max}}$ m-A | $h \times I$ m-A | $h \times I_{\text{max}}$ m-A |
| 667 | 450 | 22 | 40 | 38 | 69 | 56 | 102 | 87 | 158 | 105 | 191 |
| 500 | 600 | 29 | 53 | 47 | 86 | 70 | 127 | 100 | 182 | 130 | 236 |
| 375 | 800 | 38 | 59 | 51 | 111 | 89 | 162 | 121 | 220 | 157 | 285 |

La colonne $h \times I$ donne le produit de la hauteur de rayonnement par l'intensité du courant à la base de l'antenne, produit calculé pour donner 150 microvolts par mètre dans l'antenne de réception, à la distance correspondante de la table.

Dans le cas des navires et lorsque la hauteur de rayonnement n'a pas été déterminée expérimentalement, on utilise la colonne $h \times I_{\text{max}}$ qui donne le produit de l'intensité à la base par la hauteur totale de l'antenne comptée depuis le niveau de la mer jusqu'au

point le plus élevé de l'antenne. On a admis pour l'établissement de la table que le rapport entre la hauteur effective et la hauteur totale est égal à 0,55.

Le Comité n'a d'ailleurs pas cru devoir donner sa préférence à ce mode de calcul de la portée des stations côtières et mobiles, et il a laissé toute liberté aux diverses administrations, soit pour adopter un tel système de calcul, soit pour vérifier la portée des stations au moyen d'essais pratiques de communication diurne.

Il s'est montré encore plus prudent quant aux indica-

tions de portée des grandes stations. Ces indications, non seulement ont été considérées comme facultatives, mais de plus ont été doublées pour chaque émission en deux indications distinctes. Ces deux indications correspondent, l'une à la portée ordinaire, l'autre à une portée certaine sur laquelle on puisse compter même dans des conditions défavorables (mais pas cependant exceptionnellement défavorables). Dans le cas des émissions à ondes entretenues, manipulées ou modulées (types A₁ et A₂), la portée ordinaire devrait se calculer avec $\varepsilon = \frac{10 \mu\text{V} \cdot \text{m}}{\text{m}}$ et la portée certaine avec $\varepsilon = \frac{50 \mu\text{V} \cdot \text{m}}{\text{m}}$.

Dans le cas des émissions radiotéléphoniques et des ondes amorties (type A₃ et B), il faudra employer respectivement 50 et 250 $\mu\text{V} \cdot \text{m}$.

En résumé les données qui, sous forme tabulaire, devront être contenues dans la nomenclature des stations fixes et terrestres sont :

- 1° Nom de la station;
- 2° Indicatif d'appel;
- 3° Administration dont dépend la station;
- 4° Administration ou compagnie qui exploite la station;
- 5° Position géographique;
- 6° Type;
- 7° Antenne. $\left\{ \begin{array}{l} \text{Capacité électrostatique en microfarads;} \\ \text{Longueur d'onde propre en mètres;} \\ \text{Hauteur de rayonnement en mètres;} \end{array} \right.$
- 8°
- 9°
- 10° Type des appareils d'émission;
- 11° Type;
- 12° Onde... $\left\{ \begin{array}{l} \text{Classe;} \\ \text{Fréquence en kilocycles par seconde;} \\ \text{Longueur en mètres;} \end{array} \right.$
- 13°
- 14°
- 15° Intensité normale du courant dans l'antenne en ampères;

- 16° Service... $\left\{ \begin{array}{l} \text{Nature;} \\ \text{Horaire;} \end{array} \right.$
- 17°
- 18°
- 19° Portée $\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = 150 \mu\text{V} \cdot \text{m} \\ \varepsilon = 50 \mu\text{V} \cdot \text{m} \end{array} \right.$ pour les types B et A₃;
- 20° (facultative) $\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = 10 \mu\text{V} \cdot \text{m} \end{array} \right.$ pour les types A₂ et A₁;
- 21° Correspondants normaux (indicatif d'appel et position géographique).

RADIOPHARES. — Il s'agissait de fixer une valeur de la portée des radiophares. Les réponses ont été les suivantes :

- a) La portée normale d'un radiophare mobile ne devrait pas dépasser 10 milles marins (18,5 km);
- b) La portée normale d'un radiophare fixe à courte portée ne devrait pas dépasser 30 milles marins (55,5 km);
- c) La portée normale d'un radiophare fixe à longue portée ne devrait pas dépasser 200 milles marins (370 km).

Les ondes du type A₁ devront être seules employées.

Ces portées seront déterminées suivant les mêmes principes que pour les portées des autres stations côtières et des stations de navire.

Comme première approximation, et sous réserve de nouvelles expériences qu'il serait désirable de faire, les valeurs maxima correspondantes du produit $h \times I$ (hauteur de rayonnement de l'antenne multipliée par l'intensité à la base) ont été calculées, dans le tableau ci-dessous, en admettant pour le champ électrique à la limite de portée les valeurs suivantes :

- a) 100 microvolts par mètre pour les ondes du type A₂ et du type B;
- b) 25 microvolts par mètre pour les ondes du type A₁.

Table des mètres-ampères pour des portées et des champs électriques déterminés.

| CHAMP ÉLECTRIQUE INTENSITÉ ε | TYPE D'ONDE EMPLOYÉ | PORTÉES | | |
|-------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | 10 milles marins 18,5 km | 30 milles marins 55,5 km | 200 milles marins 370 km |
| Microvolts par mètre. $\mu\text{V} \cdot \text{m}$ | | mètres-ampères m-A | mètres-ampères m-A | mètres-ampères m-A |
| 100 | A ₂ ou B | 5 | 16 | |
| 25 | A ₁ | | 4 | 43 |

Il est recommandé à chaque administration de profiter des progrès techniques réalisés dans la construction des appareils récepteurs pour réduire autant que possible l'intensité des émissions des services de radiophares.

Radiogoniométrie. — Le Comité s'est proposé d'étudier les longueurs d'onde devant être employées par les radiogoniomètres et en particulier de rechercher laquelle des ondes suivantes est la mieux appropriée : 450, 600, ou 800 m. Il a voulu également étudier si

toutes les stations radiogoniométriques devraient être en état de prendre des relèvements sur 450 et 800 m. Les conclusions auxquelles il est arrivé sont :

- 1° Les stations radiogoniométriques côtières peuvent donner aux stations mobiles des relèvements sur les fréquences de 375 kp : s (800 m), 500 kp : s (600 m) et 667 kp : s (450 m).

Dans le service normal, les stations radiogoniométriques côtières doivent être à même de fournir des relèvements sur l'une des fréquences ou sur l'un des groupes de fréquences qui suivent :

375 kp : s seulement (800 m);
 500 kp : s seulement (600 m);
 500 kp : s (600 m) et 667 kp : s (450 m);
 375 kp : s (800 m) et 667 kp : s (450 m).

Le choix en étant laissé aux administrations nationales dont dépendent les stations.

2° Dans le but de donner assistance aux navires en détresse ou en danger, toutes les stations radiogoniométriques côtières qui n'emploient pas normalement la fréquence de 500 kp : s (600 m) doivent être à même de prendre exceptionnellement des relèvements sur cette fréquence ;

3° Les appels pour relèvements et les communications concernant la procédure radiogoniométrique peuvent être faits soit :

a) Sur la fréquence employée par la station radiogoniométrique, soit :

b) Sur la fréquence de 500 kp : s (600 m), selon les prescriptions de l'administration intéressée.

4° Les règles établies par chaque administration seront publiées par le bureau central.

Service météorologique. — Un sous-comité s'est réuni pour discuter l'organisation de la transmission des renseignements météorologiques par la radiotélégraphie. Après discussion, il a été décidé de recommander ce qui suit :

a) Les heures de transmission devraient être arrangées de telle manière que les pays dont les observations ont le plus d'importance aient la priorité.

b) Les stations radiotélégraphiques employées pour les transmissions nationales devraient avoir une portée de 1500 km, mais pas nécessairement supérieure.

c) Il ne devrait pas y avoir plus de deux transmissions simultanées de messages météorologiques synoptiques par des stations radiotélégraphiques européennes.

d) Jusqu'à ce que la Suisse ait achevé d'organiser un service radiotélégraphique qui lui permette d'envoyer les observations 30 minutes après l'heure de l'observation, celles-ci seront transmises par fil à la France pour être émises par la Tour Eiffel en même temps que les observations de France et de Belgique.

e) La Hollande devrait, si possible, faire en sorte d'envoyer ses rapports par télégraphie sans fil 50 minutes après les heures d'observation.

f) Les rapports provenant de vaisseaux dans l'Atlantique devraient, pour le moment, faire partie des émissions nationales des pays qui les reçoivent.

g) S'appuyant sur les principes ci-dessus, et tenant compte des heures de transmission et des longueurs d'ondes actuellement en usage, le sous-comité a établi un tableau donnant les heures des différentes transmissions nationales. L'émission des rapports provenant de l'Afrique du Nord (Alger, Tunis, Maroc) peut être faite soit en même temps que celle des rapports de Pologne et d'Esthonie, soit après celle des rapports d'Espagne.

h) Un message collectif donnant le résumé des ob-

servations européennes devrait être transmis trois heures après chaque heure d'observation. Ce message devrait être émis (par étincelles) par la Tour Eiffel.

Le message collectif résumant les observations européennes devrait être composé d'un certain nombre de stations pour chaque pays ainsi qu'il est indiqué par la table suivante. Le service météorologique de chaque pays devrait informer le président de la Commission aussitôt que possible des noms des stations choisies pour faire partie des messages européens collectifs.

| PAYS | NOMBRE DE STATIONS | PAYS | NOMBRE DE STATIONS |
|----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| Irlande..... | 1 (avec Thorshavn) | Danemark..... | 1 |
| Grande-Bretagne..... | 5 | Hollande..... | 1 |
| France..... | 5 | Finlande..... | 1 |
| Italie..... | 5 | Esthonie..... | 1 |
| Iles Açores..... | 1 | Pologne..... | 2 |
| Espagne..... | 5 | Tchéco-Slovaquie..... | 2 |
| Portugal..... | | Roumanie..... | 1 |
| Allemagne..... | | Constantinople..... | 1 |
| Autriche..... | 6 | Bulgarie..... | 1 |
| Hongrie..... | | Malte..... | 1 |
| Suisse..... | 1 | Afrique du Nord..... | 5 |
| Norvège..... | 3 | Tripoli..... | 1 |
| Suède..... | 2 | Egypte..... | 5 |

A ces stations seront ajoutés 30 groupes au maximum par les Etats-Unis, et 20 groupes par le Canada et le Groënland; ces groupes comprendraient toutes les observations des navires situés dans l'Atlantique Ouest qui seraient transmises par les stations émettrices à grande puissance des Etats-Unis et du Canada.

k) La transmission par ligne terrestre est nécessaire entre la Suisse et la France, mais cette méthode de communication ne sera employée normalement qu'entre pays voisins pour obtenir des observations complémentaires qui seraient nécessaires en addition à celles transmises par télégraphie sans fil.

Classification et distribution des ondes entre les différents services. — Le Comité a établi un texte et un tableau de distribution des fréquences et des longueurs d'ondes aux différents services, et il recommande que ce texte soit substitué à l'appendice 2 du projet de convention et de règlement de Washington.

Nous renvoyons au rapport du Comité pour plus amples renseignements sur cette question.

Conclusion. — Comme on le voit par ce rapide résumé, le Comité interallié n'a fait qu'effleurer la plupart des principales questions et dégrossir le travail en vue des conférences internationales futures. Il reste encore beaucoup à faire et il est à souhaiter que les savants des différents pays puissent arriver à une entente en vue de formuler un programme de re-

cherches préliminaires dont les résultats pourraient, sans aucun doute, fournir des éléments des plus utiles aux études futures. Parmi les questions radiotélégraphiques d'intérêt scientifique, qui, par leur nature, ont un caractère vraiment international, nous pouvons citer : l'étude des lois qui régissent la transmission de l'énergie dans les communications radiotélégraphiques, les perturbations atmosphériques, l'interférence produite par les différentes transmissions et les moyens de l'éliminer, les mesures en haute fréquence, les tubes électroniques, etc.

Dans la réunion de Paris, le Comité décida de limiter actuellement les accords internationaux à l'étude des deux premières questions. La loi de la propagation de l'énergie n'est pas encore établie, comme nous l'avons dit à propos des portées conventionnelles, sur des bases complètement et rigoureusement scientifiques. Il faudra donc, pour commencer, qu'un certain nombre de stations émettrices envoient à heure convenue quelques émissions particulières, pour lesquelles on mesurera soigneusement la longueur d'onde (ou fréquence) et l'intensité du courant dans l'antenne. Un certain nombre d'observateurs répartis dans les stations réceptrices des différents pays, relèveront l'intensité de ces signaux, ou mieux, celle du champ électro-

magnétique correspondant et, si possible, la direction de propagation.

Quant à l'étude des perturbations atmosphériques, elle représente peut-être aujourd'hui le problème le plus important de la radiotélégraphie : il s'agit, en effet, de déterminer leur origine et leur nature, ainsi que les principes fondamentaux sur lesquels pourraient être basées les méthodes d'élimination de ces pires ennemis de la radiotélégraphie. C'est là un champ d'études, dans lequel seule une vaste organisation de recherches expérimentales poursuivies simultanément par un grand nombre d'observateurs, pourrait conduire à des résultats concluants. Les points les plus importants à examiner semblent être : 1° la direction principale d'où proviennent les atmosphériques pour chaque station; 2° l'intensité des atmosphériques; 3° la simultanéité et les différences d'intensité des mêmes atmosphériques relevés dans différentes stations; 4° la classification des atmosphériques suivant les caractéristiques précédentes.

Souhaitons que ces premiers travaux soient entrepris le plus tôt possible, pour le plus grand bien de l'art des communications radiotélégraphiques.

G. MALGORN,
Lieutenant de vaisseau.

Sur l'application du galvanomètre balistique aux essais de fer

Dans notre précédent numéro (28 janvier 1922), nous avons reproduit, p. 115, une note de M. Chaumat, rectifiant l'étude faite par M. Germani sur le galvanomètre balistique, et qui avait été publiée dans le numéro du 26 juillet 1919 de la « Revue générale de l'Electricité ». Nous reproduisons ci-après une nouvelle note de M. Chaumat ⁽¹⁾ se rapportant au même sujet.

Dans une note antérieure ⁽²⁾, nous avons établi que la courbe représentative de la fonction $\theta(R)$ qui lie l'élongation dans un galvanomètre balistique à la résistance totale R du circuit d'amortissement avait la forme générale représentée sur la figure 1, à vitesse initiale ω_0 constante.

Cette courbe ne peut être déterminée expérimentalement que pour des valeurs de R supérieures à la résistance propre du galvanomètre; et pour des valeurs de R dépassant de peu celle du galvanomètre, les conditions de précision de la détermination sont très précaires.

Nous avons, à maintes reprises, tracé expérimentalement de telles courbes et les résultats obtenus confirment la théorie.

Or θ est proportionnel, toutes choses égales d'ailleurs, à la vitesse angulaire initiale ω_0 .

On peut donc écrire

$$(1) \quad \theta = \omega_0 f(R),$$

la fonction $f(R)$ ayant l'allure représentée par la courbe de la figure 1.

⁽¹⁾ *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 16 janvier 1922, t. CLXXIV, p. 155.

⁽²⁾ *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 3 janvier 1922, t. CLXXIV, p. 32; *R. G. E.*, 28 janvier 1922, t. XI, p. 115.

D'autre part, dans un galvanomètre à cadre mobile,

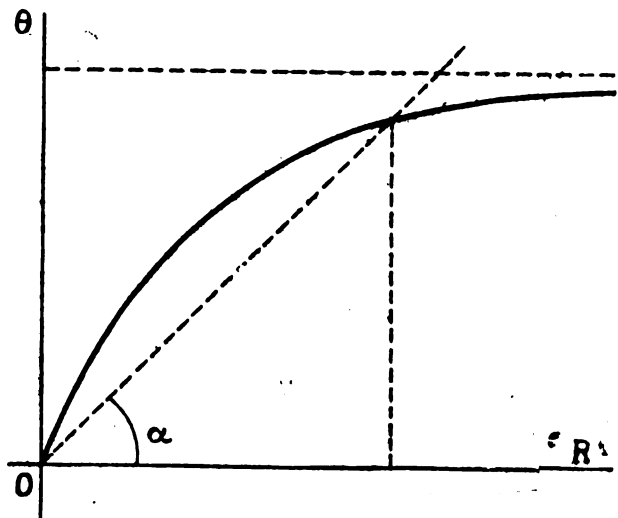


Fig. 1.

la vitesse angulaire initiale ω_0 est liée à la quantité Q mise en œuvre dans la décharge par la relation

$$(2) \quad K\omega_0 = \Phi_0 Q.$$

De (1) et (2), on tire

$$(3) \quad \theta = \frac{\Phi_0}{K} Q I(R).$$

Si l'on emploie le galvanomètre balistique à la mesure d'une variation de flux $\Delta\Phi$, on sait que

$$(4) \quad Q = \frac{\Delta\Phi}{R}.$$

R , étant la résistance du circuit induit.

La quantité d'électricité induite varie en raison inverse de R . Si R diminue, la quantité d'électricité induite augmente; mais l'amortissement augmentant, on peut se demander s'il y a une valeur de R pour laquelle l'élongation serait maxima.

La réponse est immédiate.

Les équations (3) et (4) nous donnent.

$$\theta = \frac{\Phi_0}{K} \Delta\Phi \frac{I(R)}{R}.$$

Or $I(R) = \lg z$, à l'échelle près, et l'on voit que,

pour une valeur donnée de R , $\Delta\Phi$, $\lg z$ et, par suite, θ , diminuent singulièrement quand R augmente.

On a donc toujours intérêt, pour accroître θ , à diminuer R le plus possible et, par exemple, à connecter le galvanomètre directement aux bornes de la bobine induite soumise à la variation de flux $\Delta\Phi$.

Ces résultats sont en contradiction avec ceux qui ont été annoncés par M. Germani⁽¹⁾ et je les ai vérifiés expérimentalement maintes fois.

Si, dans la pratique courante d'un essai de fer, on n'opère pas ainsi, c'est uniquement pour des raisons de facilité d'étalonnage. On met en série sur le circuit induit, entre la bobine induite et le galvanomètre, une résistance notable et connue r , par exemple, de l'ordre de grandeur de la résistance propre du galvanomètre. Et l'on décharge aux bornes de r un condensateur de capacité connue chargé sous une différence de potentiels également connue. Ce procédé d'étalonnage dispense de la connaissance de la résistance totale du circuit et permet de déterminer la constante du balistique dans des conditions d'amortissement qui sont exactement celles de l'essai de fer.

H. CHAUMAT.

Revue, analyses et informations

Le problème de la relativité dans les diélectriques.

Dans une note précédente, présentée à l'Académie des Sciences et publiée dans la « Revue générale de l'Électricité » du 31 décembre 1921, p. 940, M. Carvallo, se proposant de développer le problème de la relativité des corps en mouvement en électromagnétisme, avait fait remarquer que le fait d'exclure les corps diélectriques, dans cette théorie, constituait une grave lacune. Dans deux nouvelles notes⁽¹⁾ que nous reproduisons ci-dessous, l'auteur se propose de combler cette lacune.

1. — J'ai appelé l'attention sur l'importance qui s'attache à la considération explicite de la loi suivante de la force électromotrice induite :

Quand un élément conducteur se meut dans le champ magnétique d'un aimant fixe ou d'un courant dont le conducteur est fixe, il est le siège d'une force électromotrice. Celle-ci est mesurée par le flux d'induction magnétique coupé dans l'unité de temps par l'élément mobile.

J'ai montré qu'elle procure les deux avantages suivants :

1° C'est la clef des problèmes tels que celui de la roue de Barlow où figurent non plus seulement des fils, mais des conducteurs à deux ou trois dimensions⁽²⁾.

2° Elle permet l'extension du principe de relativité de Galilée à l'électromagnétisme des conducteurs et des électrolytes⁽³⁾.

⁽¹⁾ Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 27 décembre 1921, t. CLXXIII, p. 1461 et 9 janvier 1922, t. CLXXIV, p. 106.

⁽²⁾ Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 23 décembre 1901, t. CXXXIII, p. 1495; L'électricité déduite de l'expérience, 2^e partie, ch. II.

⁽³⁾ Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 31 décembre 1921, t. CLXXIII, p. 1455.

2. — Que devient la loi quand le corps en mouvement est un diélectrique? Blondlot a examiné le cas de l'air⁽²⁾ dont le pouvoir diélectrique K par rapport au vide est voisin de 1. La force électromotrice induite s'est montrée insensible relativement à la valeur que lui assigne la loi ci-dessus.

Pour un corps tel que l'ébonite dont le pouvoir diélectrique est double de celui de l'air, on peut prévoir que la force induite par le mouvement est égale à celle qui correspond au métal multipliée par un coefficient λ compris entre 0 et 1, ces deux nombres limites correspondant aux deux cas extrêmes, celui de l'air raréfié et celui du métal. Il appartient à l'expérience de faire connaître les valeurs de λ ; mais

il est à prévoir que λ a pour valeur le nombre $\frac{K-1}{K}$ que lui assigne la théorie de Lorentz⁽³⁾. Cette valeur explique en effet l'entraînement partiel des ondes lumineuses dans l'expérience de Fizeau⁽⁴⁾, conformément à la formule de Fresnel⁽⁵⁾.

3. — Pour le montrer, je considère un système d'axes attaché aux corps inducteurs supposés fixes. Soit v la vitesse du diélectrique. Pour simplifier les écritures, je la suppose dirigée suivant Ox . Les calculs sont ceux de ma précédente note.

La force électromotrice induite dans l'ébonite mobile

⁽¹⁾ Revue générale de l'Électricité, 26 juillet 1919, t. VI, p. 99.

⁽²⁾ Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 25 novembre 1901, t. CXXXIII, p. 848.

⁽³⁾ POINCARÉ, Électricité et optique, 2^e édition, 3^e partie, ch. IV.

⁽⁴⁾ FIZEAU, Annales de Chimie et de Physique, 3^e série, 1859, t. LVII, p. 385.

⁽⁵⁾ FRESNEL, Annales de Chimie et de Physique, 2^e série, t. IX, p. 57.

introduit dans la première des équations de Maxwell le terme $\lambda v \left(\frac{\partial b}{\partial y} + \frac{\partial c}{\partial z} \right)$. Ladite équation s'écrit donc

$$(1) \quad -\left(\frac{\partial}{\partial y} Z - \frac{\partial}{\partial z} Y \right) + \lambda v \left(\frac{\partial b}{\partial y} + \frac{\partial c}{\partial z} \right) = a'.$$

Pourvu que v représente la vitesse relative du diélectrique par rapport à la source inductrice, cette grandeur ne change pas quand on passe à un nouveau système d'axes $O_1 x_1 y_1 z_1$ animé d'une vitesse de translation v_1 . Choisissons $v_1 = \lambda v$; le premier membre de l'équation (1) demeure invariant. Le second membre devient

$$a' = \frac{da}{dt} - \lambda v \frac{\partial a}{\partial x_1}.$$

a' étant la dérivée par rapport au temps pour x constant, et $\frac{da}{dt}$ la dérivée pour x_1 constant; de sorte que l'équation (1) se transforme en celle-ci

$$(2) \quad -\left(\frac{\partial}{\partial y_1} Z - \frac{\partial}{\partial z_1} Y \right) + \lambda v \left(\frac{\partial b}{\partial y_1} + \frac{\partial c}{\partial z_1} \right) = \frac{da}{dt} - \lambda v \frac{\partial a}{\partial x_1}.$$

Les termes en λv se détruisent en vertu de la loi du flux de l'induction magnétique. Ces termes supprimés, on reconnaît l'équation correspondant au cas des corps en repos. On peut donc énoncer la loi suivante :

Un diélectrique de coefficient d'induction λ , recevant d'une source fixe une onde électromagnétique et se trouvant animé de la vitesse v par rapport à la source, la propagation de l'onde se fait comme dans le cas du repos, relativement à des axes animés de la vitesse λv . En d'autres termes, le diélectrique animé de la vitesse v entraîne les ondes avec la vitesse λv , ayant pour valeur $\frac{K-1}{K}$; c'est bien la loi de Fresnel-Fizeau.

4. — Nous avons considéré seulement la première des deux équations vectorielles de l'électromagnétisme. Pour que notre conclusion soit légitime, il faut encore que la deuxième équation présente le même caractère analytique que la première; il faut donc y introduire un terme en λ correspondant à celui de l'équation (1). Qu'on cesse, pour la généralité, de supposer la vitesse v dirigée suivant Ox ; qu'on désigne par ξ, η, ζ les composantes de cette vitesse; par α, β, γ celles de la force magnétique; par f, g, h celles du déplacement électrique, la première des équations relatives à la circulation de la force magnétique s'écrit

$$\left(\frac{\partial}{\partial y} \gamma - \frac{\partial}{\partial z} \beta \right) + \lambda \left[\frac{\partial}{\partial y} (\xi g - \eta f) - \frac{\partial}{\partial z} (\zeta f - \xi h) \right] = f.$$

Quel est le fait expérimental qui correspond au terme en λ ? C'est que la vitesse (ξ, η, ζ) du diélectrique placé dans le champ électrique (f, g, h) des inducteurs fixes induit une force magnétomotrice dont les composantes sont, par unité de volume,

$$-\lambda (\eta h - \zeta g), \quad -\lambda (\zeta f - \xi h), \quad -\lambda (\xi g - \eta f).$$

Cette force magnétomotrice s'ajoute à celle des courants de déplacement (f', g', h'). Elle a été mise en évidence par M. Röntgen.

5. — Il y aurait intérêt à reprendre les expériences sur les deux forces étudiées dans cette note et qui sont induites par le déplacement relatif d'un diélectrique dans le champ électromagnétique d'inducteurs considérés comme fixes: c'est une force électromagnétique pour le champ magnétique; c'est une force magnétomotrice pour le champ électrique. L'intérêt qui s'attache à l'étude de ces forces est qu'elles jouent un rôle fondamental dans le problème de la relativité en électromagnétisme.

6. — La conclusion de mes deux notes antérieures est celle-ci :

Quand un corps est mobile dans le champ magnétique d'un inducteur supposé fixe, il est le siège d'une force électromotrice induite. Celle-ci a pour mesure le flux d'induction coupé dans l'unité de temps s'il s'agit d'un conducteur. C'est le même flux multiplié par $\lambda = \frac{K-1}{K}$ si le corps mobile est un diélectrique de pouvoir inducteur K par rapport au vide (1).

Grâce à cette force, la première équation vectorielle de l'électromagnétisme (celle qui est relative à la circulation de la force électrique) jouit de l'invariance de Galilée quand il s'agit des conducteurs. La propriété d'invariance semble à première vue disparaître dans les diélectriques. En cela, les équations de l'électromagnétisme diffèrent de celle de la mécanique.

7. — L'expérience nous avertit que la différence est plus apparente que réelle, puisqu'en dépit de leurs efforts, les physiciens ont abouti à cette conclusion qu'aucune expérience d'électro-optique, comme aucune expérience de mécanique faite à la surface de la Terre, n'est capable de manifester la translation de notre planète, si tout le matériel expérimental est rattaché au sol.

8. — L'apparence trompeuse a pour cause une hypothèse sur les diélectriques. Celle-ci résulte d'idées préconçues inspirées par l'analogie. Pour le montrer, revenons aux diélectriques: La loi ci-dessus a, nous l'avons vu, pour conséquence que, dans l'expérience de Fizeau, la vitesse v du corps entraîne l'onde lumineuse avec la vitesse $\frac{K-1}{K} v$. Si

le corps est l'air (K voisin de 1), l'influence de la vitesse v est insensible. Elle tend à devenir nulle à mesure que l'air raréfié se rapproche du vide. De là l'idée généralement admise que l'air joue seulement un rôle secondaire et perturbateur; que l'onde est propagée, non par l'air, mais par l'éther; que ce corps supposé ne participe pas au mouvement de l'air. Hypothèse naturelle, séduisante et féconde par l'analogie qu'elle précise entre les ondes lumineuses et les ondes sonores; mais hypothèse dangereuse; car si l'on aperçoit de suite une analogie frappante, l'expérience révèle par contre une différence profonde dans la loi de relativité. Là se trouve l'origine de la contradiction qui existe entre la théorie et l'expérience de Michelson; car, à l'éther, fixe on attache ce postulat qu'il propage l'onde issue de la source inductrice toujours de la même façon, que la source soit fixe ou qu'elle soit mobile. Du postulat résulte la conséquence inéluctable que l'éther fixe peut servir à repérer le mouvement absolu de la Terre.

9. — Que la pensée abandonne un moment l'image de l'éther fixe pour ne plus retenir que les faits observés sur la

(1) Pour la vérification expérimentale de cette loi, voir WILSON, *Proceed. of Roy. Soc.*, 1904, t. LXXIII, p. 490.

matière tangible, faits dominés par la loi de relativité de Galilée-Michelson, voici quelles sont les données positives de la science expérimentale.

A une source inductrice S, considérée comme fixe, est lié le système de référence *Oxyz*. La première des équations de l'électromagnétisme dans le vide est

$$(1) \quad = \left(\frac{\partial}{\partial y} Z - \frac{\partial}{\partial z} Y \right) = a',$$

a' dérivée de a par rapport au temps pour x constant). Passons à un nouveau système de référence $O_1x_1y_1z_1$, parallèle au premier, mais animé par rapport à S d'une vitesse v_1 que (pour simplifier les écritures) je suppose parallèle à *Ox*. L'équation (1) devient

$$(2) \quad - \left(\frac{\partial}{\partial y_1} Z - \frac{\partial}{\partial z_1} Y \right) = \frac{da}{dt} - v_1 \frac{\partial a}{\partial x_1}$$

$\left(\frac{da}{dt} \right.$ dérivée pour x_1 constant). Un observateur du système $O_1x_1y_1z_1$ voit la source S animée de la vitesse $v_0 = -v_1$. C'est v_0 qu'il doit introduire dans le dernier terme de l'équation (2). Celle-ci devient alors

$$(2') \quad - \left(\frac{\partial}{\partial y_1} Z - \frac{\partial}{\partial z_1} Y \right) = \frac{da}{dt} + v_0 \frac{\partial a}{\partial x_1}.$$

De la méthode même que nous avons suivie, il résulte que l'équation (2) est invariante quand on passe d'un système d'axes à un autre système animé par rapport au premier d'une vitesse de translation quelconque. J'entends par là qu'on arrive toujours à l'équation (2), pourvu que la vitesse v_0 représente toujours la vitesse de la source par rapport au système de référence dans lequel on se trouve. Le fait est d'ailleurs facile à vérifier par un calcul tout pareil à celui qu'on vient d'exécuter.

En particulier, si l'on attache le système de référence à la source inductrice S, on retombe sur les équations qui conviennent au cas du repos, puisque la vitesse v_0 devient alors nulle.

Les mêmes considérations s'appliquent à la deuxième des équations vectorielles de l'électromagnétisme. On arrive ainsi à cette proposition :

Une onde issue d'une source inductrice mobile S se propage dans le vide comme si le vide (assimilé à un corps matériel) était entraîné dans le mouvement de translation de la source.

Pour mieux dire :

Une source animée d'une translation entraîne avec elle son train d'ondes électromagnétiques, comme un aimant emporte avec lui son champ magnétique dans les expériences de Faraday (spectres magnétiques, courants induits).

Si l'on admet cette loi qui semble bien impérieusement commandée par les faits, l'expérience de M. Michelson s'explique d'elle-même : aucune expérience d'électro-optique ne peut révéler la translation de l'ensemble des appareils. Quant à la remarquable expérience de M. Sagnac montrant que la rotation de l'appareil expérimental agit sur le phénomène lumineux, comme la rotation de la Terre agit sur le pendule de Foucault, il suffit de reprendre le calcul de l'auteur (*). La seule modification est que les vitesses envisagées sont augmentées de la vitesse v de la source. La circulation du vecteur c sur le contour fermé du rayon lumineux étant nulle, le résultat du calcul de M. Sagnac n'est pas changé.

(*) SAGNAC. *Journal de Physique*, mars 1914.

L'harmonie de l'électro-optique avec la mécanique apparaît donc complète, sans qu'il soit nécessaire de bouleverser les fondements de notre connaissance d'après les idées de M. Einstein.

Sur la dynamique de la relativité.

Tel est le titre d'une communication faite par M. Langevin à la séance du 16 décembre 1921 de la Section de Strasbourg de la Société française de Physique et dont nous donnons ci-dessous le compte rendu.

La théorie de relativité est la seule qui rende exactement compte de tous les faits physiques actuellement connus et qui permette en outre d'en prévoir de nouveaux. En particulier, dans le domaine de la relativité restreinte, c'est-à-dire en l'absence de champ de gravitation, elle conduit à une dynamique nouvelle où la masse d'un corps cesse d'être une constante et varie, non seulement avec la vitesse du corps, mais encore avec son état intérieur : où la notion de masse se confond avec celle d'énergie interne : où enfin les anciens principes indépendants de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie se fondent en un seul, le principe de conservation de l'impulsion d'univers.

Cette nouvelle dynamique est entièrement confirmée par l'expérience, dans le cas des rayons cathodiques et des rayons β comme dans celui des applications à la structure des raies de l'hydrogène ou du spectre des rayons de Röntgen caractéristiques.

Le passage d'une dynamique à l'autre est rendu difficile par les méthodes habituelles d'enseignement de la mécanique rationnelle où le principe de conservation de la masse, par exemple, est introduit d'ordinaire comme postulat fondamental.

Il est possible de rendre la transition plus facile et d'obtenir en même temps un exposé plus physique et plus satisfaisant de la mécanique rationnelle ordinaire en suivant une marche qui donne indifféremment l'une ou l'autre des deux dynamiques, celle de première approximation (dynamique ancienne) comme celle de seconde approximation (dynamique de la relativité restreinte) selon la cinématique adoptée, cinématique du temps absolu dans le premier cas et cinématique du temps optique ou relatif dans le second.

Il suffit pour cela de considérer la dynamique comme une branche de la physique, celle qui traite du mouvement des corps, et de l'appuyer, comme toute la physique, sur les deux principes imposés par l'expérience : le principe de conservation de l'énergie d'une part et d'autre part, le principe de relativité restreinte qui affirme l'équivalence au point de vue des lois de la physique de systèmes de référence particuliers en translation uniforme les uns par rapport aux autres.

L'adjonction à ces deux principes de la cinématique ancienne impose, de façon nécessaire, la proportionnalité de l'énergie cinétique au carré de la vitesse, la conservation de la masse et celle de la quantité de mouvement et toute la mécanique rationnelle ordinaire par voie de conséquence.

Les mêmes raisonnements, appliqués à la cinématique du temps relatif, conduisent aux lois de la nouvelle dynamique et en particulier à l'inertie de l'énergie.

Le détail des raisonnements et des calculs sera donné ailleurs. Il y aurait grand intérêt à ce que l'enseignement de la mécanique fût modifié dans le sens indiqué : on lui donnerait ainsi un sens plus physique et l'on éviterait la plupart des difficultés qui se présentent actuellement au moment du passage d'une dynamique à l'autre.

SECTION INDUSTRIELLE

Étalonnage des compteurs au lieu même de l'utilisation

Dans cet article l'auteur indique divers dispositifs permettant d'étalonner au lieu même d'utilisation les compteurs des installations à courants alternatifs à haute ou basse tension en « injectant » dans ces instruments un courant auxiliaire modifiant à volonté la composante réactive du courant total traversant le compteur.

Il est relativement facile de vérifier un compteur ou appareil de mesure et de déterminer son erreur à une charge donnée.

Il est moins facile en ce qui concerne les appareils d'induction de corriger cette erreur, particulièrement pour ceux qui fonctionnent sur transformateurs de mesure. Au moment de l'étalonnage, on connaît rarement, de façon précise, le circuit secondaire sur lequel lesdits transformateurs auront à débiter. Il peut arriver également que de nouveaux appareils (compteurs sinus, ampèremètres, wattmètres), soient introduits après coup dans les circuits secondaires. L'étalonnage est alors nécessaire et il exige des lectures de comparaison faites à différentes charges, les unes non ou peu inductives, les autres inductives. Ces comparaisons permettent de régler les anneaux ou enroulements correcteurs du déphasage, ainsi que la marche en faible débit.

Il est inutile d'insister sur l'importance de l'angle, les erreurs produites de ce fait augmentant quand le facteur de puissance décroît.

Dans le cas d'usines où la charge est suffisamment constante, un procédé permet de se rendre compte (pour les compteurs basse tension) des erreurs dues à l'angle du flux tension sur la tension elle-même.

Il suffit de brancher les bobines tension des éléments wattmétriques du compteur sur des phases différentes et de faire des lectures, les appareils de contrôle étant branchés de la même façon que les éléments en observation (fig. 1). En prenant, par exemple, un facteur de puissance de 0,80 : l'élément 1, $I_A AC$, fonctionne avec un facteur de puissance sensiblement égal à 1, et l'élément 2, $I_B BC$, avec un facteur de puissance égale à 0,4. Si l'élément 1, à sa tension prise sur AB, le $\cos \varphi$ devient 0,4 et deux lectures de comparaison peuvent être ainsi faites. Pour l'élément 2, la deuxième lecture est faite sur le branchement $I_B BA$.

Cependant la charge est déterminée et, bien que la méthode rende des services, elle est insuffisante quand l'usine a une charge très variable (ce cas se rencontre dans les mines). Une méthode simple au point de vue

théorique et facilement réalisable au point de vue pratique consiste à installer un dispositif permettant d'« injecter » sur une portion du circuit, un courant

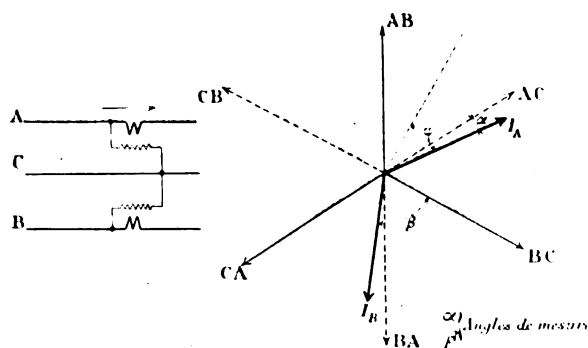


Fig. 1. — Schéma de montage des appareils.

auxiliaire de grandeur et direction voulues et variables au gré de l'opérateur.

Ce dispositif basse tension, représenté (fig. 2) pour une phase, comprend les deux transformateurs de contrôle et deux transformateurs d'intensité auxiliaires (un sur chaque phase) alimentés au secondaire par la tension du réseau réglée par des résistances ou self-induction ou bien par la combinaison de ces deux éléments. La tension peut être prise suivant les six directions AB, AC, BC, BA, CA, CB, donnant ainsi au courant auxiliaire six directions de base ; les positions intermédiaires sont obtenues au moyen de la self-induction et de la résistance convenablement couplées en série avec le circuit fil fin.

Le courant ainsi « injecté » se superpose au courant d'utilisation qui peut être fictivement augmenté, diminué et déphasé. Si le courant de service est une trop grande source de troubles, on sépare simplement les appareils de mesure qui ne restent reliés que par un point au réseau, et un pont provisoire est établi (fig. 3). Dans ce cas, comme dans le cas d'essai pendant

l'arrêt de l'installation, les lectures sont aussi faciles et aussi précises qu'au laboratoire.

Il est avantageux de posséder des interrupteurs tels que S_1 et S_2 dans les deux figures 2 et 3, permettant de mettre hors circuit les appareils de mesure et de

faire les corrections nécessaires de *tendance à vide*.

Dans le premier schéma (fig. 2), on peut diminuer la puissance enregistrée par les appareils de mesure en dérivant une partie du courant dans les transformateurs auxiliaires. Dans ce but on ferme simplement

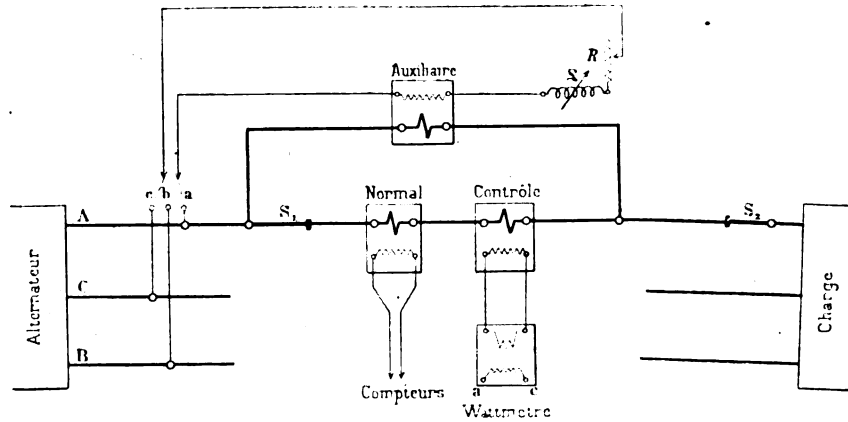


Fig. 2. — Montage permettant d'« injecter » du courant figuré seulement par une phase A. Dans ce montage le courant normal et le courant « injecté » sont superposés. S_1 , S_2 , sectionneurs.

les bornes secondaires des dits transformateurs sur des self-inductions ou résistances d'autant plus faibles que la portion dérivée doit être plus forte.

A noter que, si le transformateur est fermé sur

une résistance, il dérive le courant watté; donc le courant mesuré est plus déphasé que le courant normal; si le transformateur est fermé sur une self-induction, il dérive le courant déwatté; le cou-

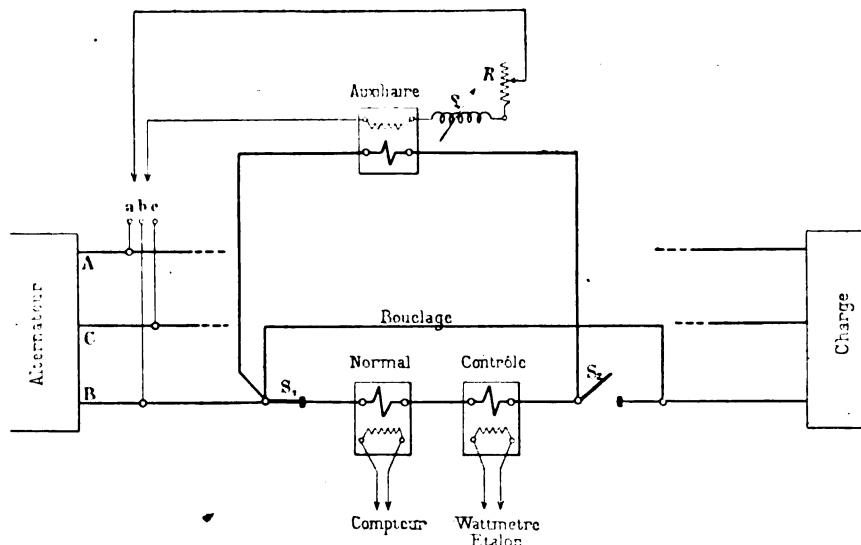


Fig. 3. — Montage avec dérivation du courant normal, le courant « injecté » intervient seul. Le bouclage peut-être simple ou bien comporter dans son circuit un transformateur d'intensité relié à un compteur qui enregistrera l'énergie consommée pendant les essais.

rant mesuré est moins déphasé que le courant normal.

En haute tension et même si l'on dispose de source basse tension voisine, il est avantageux, pour l'alimentation des transformateurs d'intensité auxiliaires, de

prendre comme source de tension deux transformateurs du modèle normal employé pour les mesures (fig. 4). Ces transformateurs peuvent débiter sans danger 3 A de façon intermittente et nous les avons employés avec succès.

Les changements de tension se font au secondaire, toujours suivant le principe précédemment décrit. Il

suffit simplement que les transformateurs d'intensité soient isolés pour la tension considérée et de prendre

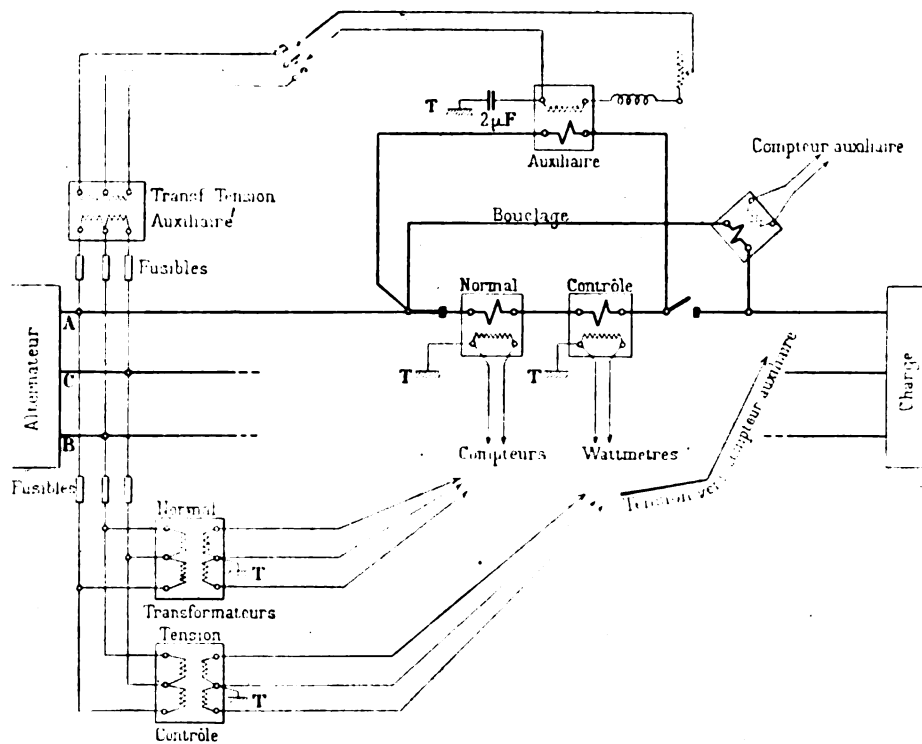


Fig. 4. — Montage haute tension avec bouclage et compteur auxiliaire. Les 3 jeux de transformateurs de tension sont figurés pour plus de clarté avec deux jeux de fusibles. Les 3 transformateurs peuvent en pratique être branchés sur le même jeu de coupe-circuit.

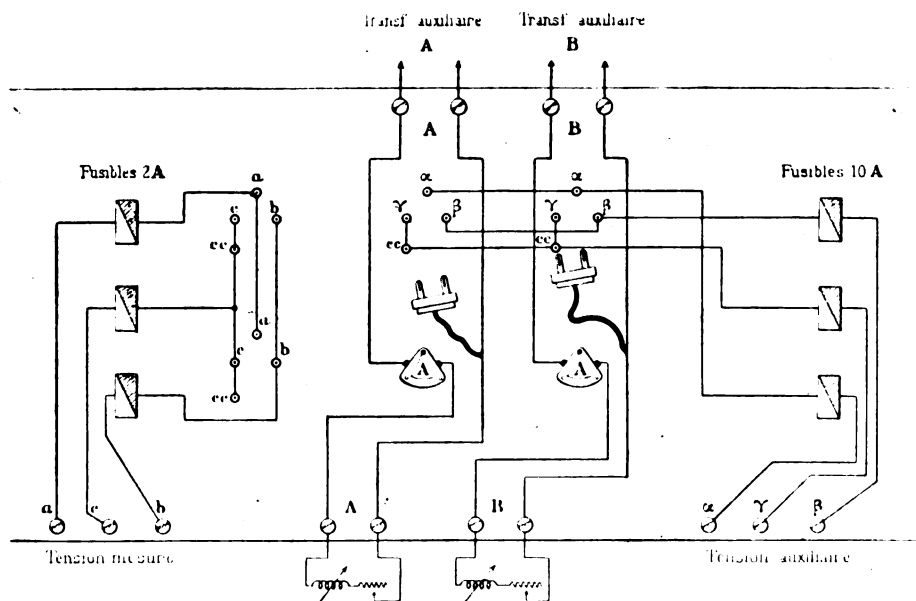


Fig. 5. — Planchette spéciale de commutation.

pour tous les appareils les dispositions de sécurité suffisantes :

Terre à chaque transformateur d'intensité de contrôle ;

Terre à l'une des bornes secondaires, tension des transformateurs de contrôle et auxiliaires ;

Terre protégée pour les transformateurs d'intensité auxiliaires ⁽¹⁾ ;

Terre à masse de tous les appareils.

La figure 5 reproduit le schéma de la boîte de connexion employée dans cette méthode et qui permet de simplifier beaucoup les manipulations et réduit au minimum les erreurs.

La partie gauche se rapporte aux circuits tension des appareils étalons de contrôle ; la partie droite à l'alimentation des transformateurs d'intensité auxi-

liaires, permettant toutes les combinaisons nécessaires à la bonne marche de l'étalonnage.

Les résistances auxiliaires sont réalisées facilement au moyen de résistances liquides.

Le montage représenté (fig. 4) ne nécessite, avec deux monteuses, qu'une heure et demie d'interruption de courant pour l'installation et une heure pour le démontage.

W. JANVIER,

Ingénieur aux Forces motrices du Haut-Rhin,
Service des Compteurs.

La production de l'utilisation de la vapeur (Suite et fin) ⁽²⁾

Deuxième partie. Utilisation de la vapeur.

(Suite et fin)

UTILISATION DE LA VAPEUR EN CASCADE. — Dans tout ce qui précède, nous avons considéré séparément la production de la force motrice et chacun des autres emplois industriels de la vapeur, en recherchant les possibilités de réduire la consommation de chaleur dans chaque cas, mais sans faire servir la même vapeur successivement à plusieurs fins. Il y a mieux à faire, c'est l'utilisation en cascade. En effet, lorsqu'on produit de la force motrice, par exemple, une fraction seulement de la chaleur totale de la vapeur est transformée en travail mécanique. L'autre partie, qui est de beaucoup plus importante en quantité, ne fait pour ainsi dire que traverser la machine, s'y dégrade et est évacuée au niveau de température d'aval.

L'équivalent calorifique d'un cheval-heure étant de 632 calories, c'est-à-dire du même ordre de grandeur que la chaleur totale d'un kilogramme de vapeur, une machine à vapeur parfaite ne devrait consommer qu'un kilogramme environ de vapeur par cheval-heure, si toute la chaleur reçue par le fluide pouvait être transformée en travail. Or, la machine parfaite à condensation consomme, ainsi qu'il ressort des tableaux précédents, 3 à 4 kg et la machine réelle 5 à 10 kg. Il saute aux yeux que l'utilisation de la chaleur non transformable en travail et abandonnée par la machine constitue une des sources d'économie les plus fécondes dans l'emploi de la vapeur.

Mais l'utilisation de cette chaleur est souvent peu aisée, à raison de ce qu'elle est d'autant plus dégradée et ramenée à un niveau de température d'autant plus bas que la machine est plus perfectionnée et sa consommation plus réduite. Une centrale électrique, par exemple, avec turbines modernes, évacue des centaines de millions de calories par heure, qui

se retrouvent dans l'eau du condenseur à une température entre 25 et 35°C, c'est-à-dire à un niveau où, malheureusement, elle est presque sans valeur pratique. C'est à peine si une petite fraction de cette chaleur peut être employée à réchauffer l'eau d'alimentation de quelques degrés ou, comme cela se fait dans des cas malheureusement trop rares, à alimenter des bains publics. La plupart du temps cette énorme quantité de chaleur à basse température est plus gênante qu'utile, et il faut faire usage de réfrigérants spéciaux pour s'en débarrasser et la céder à l'atmosphère.

Il faut donc, si l'on veut utiliser la chaleur de la vapeur d'échappement d'une machine ou d'une turbine, s'arrêter à un niveau de température plus élevé en évitant la détente complète. On augmente ainsi, bien entendu, la consommation de vapeur par unité de travail mécanique, mais, dans l'ensemble, le profit est souvent très sérieux.

Un exemple concret fera mieux comprendre la relation qui existe entre ces différentes grandeurs.

Supposons une machine alimentée en vapeur à 12 kg : cm² absolu et 250°C (vapeur surchauffée). Si cette machine marche avec un vide de 92 pour 100, elle consommera, par exemple, 5,16 kg de vapeur par cheval-heure indiqué. Elle abandonnera en même temps au condenseur 2 940 calories à un niveau de température de 41°, c'est-à-dire sans grande valeur (voir le tableau ci-après).

Si on remonte le niveau de température d'aval en diminuant le vide jusqu'à 50 pour 100, la consommation de vapeur montera à près de 7 kg par cheval-heure et la quantité de chaleur évacuée, à environ 4 200 calories. Cette chaleur sera à un niveau de température de 81°, c'est-à-dire très apte déjà à certains usages, en particulier, à la préparation d'eau chaude pour la brasserie, les bains de teinture ou le chauffage d'ateliers.

En supprimant complètement le condenseur et en marchant à échappement libre, c'est-à-dire à une contre-pression dépassant légèrement 1 kg : cm² absolu, la consommation et la chaleur évacuée augmenteront encore d'environ 20 pour 100, s'élevant respectivement à 8,6 kg et à 5 370 calories. Cette fois, la chaleur évacuée aura une valeur très appréciable, puisque sa température sera de 100° environ. Elle pourra servir à des chauffages de toute sorte à basse pression, vaporisation, séchage et autres. Toutefois, à ces température et pression, la vapeur de décharge ne peut pas être amenée bien loin, à moins que l'on ne fasse un léger vide à l'extré-

⁽¹⁾ Ces transformateurs ne doivent pas être réunis directement à la terre. Leur secondaire peut, en effet, être branché sur n'importe quelle phase secondaire des transformateurs auxiliaires de tension et parmi celles-ci l'une est à la terre et un court-circuit franc aurait lieu. Afin de dériver les courants dus à la capacité, un condensateur de 2 µF (110 V, 50 à 100 mA) est branché entre une borne secondaire et la terre.

⁽²⁾ R. G. E., 21 janvier 1922, t. XI, p. 83-92.

Pression initiale absolue, 12 kg : cm²; température initiale, 250°

| PRESSION à l'échappement | CHALEUR disponible par la détente adiabatique d'un kilogramme de vapeur | VALEUR supposée du rendement thermo- dynamique de la machine par rapport à la machine parfaite | CALORIES utilisées par kilogramme de vapeur | CONSUMMATION de vapeur par cheval-heure | CHALEUR de la vapeur d'échappement par kilogramme | CHALEUR de la vapeur d'échappement par cheval-heure | TEMPÉRATURE de la vapeur d'échappement |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| kg : cm ² | cal. | | cal. | kg | cal. | cal. | degrés C° |
| 0,08 | 188,3 | 0,65 | 122,4 | 5,16 | 569,1 | 2 938 | 41,3 |
| 0,5 | 133,6 | 0,68 | 90,7 | 6,97 | 604,0 | 4 209 | 80,9 |
| 1,1 | 104,8 | 0,70 | 71,3 | 8,62 | 623,1 | 5 372 | 101,8 |
| 3,0 | 65,3 | 0,73 | 47,6 | 13,28 | 651,4 | 8 649 | 133 (139) |
| 5,0 | 43,8 | 0,76 | 33,25 | 19,00 | 667,1 | 12 680 | 151 (168) |

mité de la conduite. Dans la plupart des emplois de vapeur, cette sujétion est gênante, et il est utile, souvent même indispensable, d'avoir une certaine pression.

Une pression de 2 kg : cm² effectifs suffit pour un grand nombre d'applications, par exemple dans l'industrie textile et celle du papier. En arrêtant la détente à cette pression, la machine considérée, alimentée toujours par la même vapeur surchauffée, consommerait 13,3 kg et évacuerait 8 650 calories à 3 kg : cm² de pression absolue, pression à laquelle correspond une température de 135°, sans tenir compte des quelques degrés de surchauffe que la vapeur pourrait encore avoir au sortir de la machine.

Si enfin l'utilisation de la vapeur d'échappement nécessite une pression encore plus élevée, par exemple 5 kg : cm² absolu, la consommation montera à 19 kg avec une quantité de chaleur disponible de 12 680 calories qui se trouvera être à une température supérieure à 150°.

Cet exemple montre dans quelles proportions augmente, en fonction de la contre-pression, la consommation des machines et la chaleur disponible à leur sortie. Ces chiffres n'ont rien d'absolu. Ils s'appliquent à une bonne machine à pistons, seraient plus élevés s'il s'agissait de vapeur saturée ou d'une machine moins bonne, mais pourraient être sensiblement moindres, surtout pour les contre-pressions élevées, si, au lieu de 12 kg : cm² on employait une pression initiale de 18 ou 20 kg : cm². L'avantage des hautes pressions d'admission est incontestable dans ce cas.

Les turbines à vapeur fonctionnant à contre-pression ont d'ordinaire, à égalité de contre-pression, des consommations plus élevées que les machines à pistons, puisque le rendement des roues haute pression est généralement moindre. Malgré cette infériorité, la turbine à contre-pression, même de faible puissance, est souvent employée lorsqu'on veut utiliser la vapeur de décharge, parce que cette vapeur est absolument pure et exempte d'huile, tandis que celle qui sort d'une machine à pistons contient, même après son passage par des déshuileurs, un peu d'huile. La présence de traces d'huile, même légères, peut rendre la vapeur inemployable pour certaines opérations, où elle entre en contact direct soit avec des marchandises délicates, soit avec des matières alimentaires.

Le problème de la bonne utilisation de la vapeur d'échappement consiste surtout dans la combinaison judicieuse et l'équilibre des besoins de force motrice et de vapeur de chauffage ou de fabrication. Supposons un instant que la quantité de vapeur nécessaire pour ces derniers besoins soit exactement égale à celle qui s'échappe de la machine à vapeur commandant un établissement industriel, et voyons, sur un

exemple, l'économie qui peut résulter de la combinaison des deux. En nous reportant à la machine citée plus haut, et en admettant qu'elle développe 100 ch et que la fabrication exige d'une façon constante 864 900 calories à l'heure sous forme de vapeur à 2 kg : cm² de pression effective, ce qui fait très sensiblement 1 300 kg de vapeur, la dépense de chaleur pour la machine marchant à condensation serait égale à $100 \times 5,16 \times 704 = \dots\dots\dots 363\,300$ calories

On dépenserait, en outre, la chaleur de la vapeur de fabrication, soit.....

864 900

Au total..... 1 228 200 calories

Si, au lieu de la condensation et d'une production directe de vapeur de chauffage, on utilise de la vapeur de décharge, il suffira de produire la vapeur passant par la machine, soit $200 \times 13,28 \times 704 = 934\,900$ calories.

L'économie qui en résulte, par rapport à la première hypothèse, sera de 293 300 calories, soit 24 pour 100.

On voit que, dans un cas semblable, la question de savoir quelle est la force motrice la plus économique ne se pose même pas, car si l'on considère la dépense pour la production de vapeur de fabrication comme inéluctable, le supplément de chaleur qu'il est nécessaire de communiquer à la vapeur pour produire 100 ch, est de

$$934\,900 - 864\,900 = 70\,000 \text{ calories,}$$

c'est-à-dire, toutes pertes comprises, d'environ 70 calories par cheval-heure : c'est moins d'un cinquième de ce que consomme une bonne machine à condensation.

On voit ainsi qu'il n'existe aucune source de force motrice, que ce soit un moteur Diesel ou une grande centrale électrique de distribution, qui puisse lutter comme économie avec une machine à contre-pression, dont la vapeur de décharge peut être utilisée intégralement.

Toutefois, c'est là l'hypothèse la plus simple et la plus avantageuse, qui, on le conçoit, ne se réalise que très rarement.

Souvent la quantité de vapeur nécessaire à la fabrication est plus grande que celle fournie par la décharge de la machine. Il faut alors ajouter de la vapeur vive en complément, et l'économie calculée ci-dessus est réduite d'autant.

Ou bien il faut moins de vapeur de fabrication et de chauffage que la quantité qui est livrée par la machine à contre-pression. On peut alors, si les différences ne sont pas trop grandes, adapter dans une certaine mesure le régime de la machine à la demande de vapeur. Il suffit de baisser un peu la contre-pression pour qu'immédiatement la quantité de

vapeur disponible diminue pour la même puissance. Dans le cas où la disproportion est trop grande et où la quantité de vapeur nécessaire aux chauffages et à la fabrication est nettement inférieure à celle qui serait fournie par la machine marchant à la contre-pression voulue, il faut avoir recours à une solution mixte. On se sert alors, par exemple, d'une machine jumelle, dont l'un des cylindres fournit la quantité de vapeur de décharge nécessaire, et l'autre, relié à un condenseur, fournit le supplément de puissance demandé par l'usine. Cet appoint de puissance peut d'ailleurs être demandé, soit à une machine indépendante à vapeur ou à combustion interne, soit à une distribution électrique extérieure. Ou bien, faisant emploi d'une machine compound, on prélève au réservoir intermédiaire, c'est-à-dire après détente dans le petit cylindre, la quantité de vapeur de chauffage nécessaire, en laissant le restant de la vapeur se détendre dans le grand cylindre jusqu'à la pression du condenseur. Le même procédé peut être employé pour les turbines à vapeur en prélevant, en un point convenable du parcours, une partie de la vapeur ayant travaillé dans les roues haute pression.

La réalisation pratique de ces machines et turbines à prélèvement de vapeur a suscité de nombreux et ingénieux dispositifs pour maintenir l'équilibre de pression au point de prélèvement, malgré les variations de la puissance et de la quantité de vapeur prélevée : dispositifs dans le détail desquels il ne nous est pas possible d'entrer, mais qui ont résolu complètement le problème pour les conditions de marche les plus variées et les plus variables.

Pour les machines à pistons, ces dispositifs consistent généralement à faire varier automatiquement le rapport d'admission au grand cylindre, cette admission étant diminuée lorsque la pression tend à baisser et augmentée lorsque la pression tend à monter. Toutefois, l'admission ne doit pas pouvoir aller au-dessous d'une certaine valeur, pour éviter que le grand cylindre, marchant à vide, aspire l'eau du condenseur. Au cas où, la marche de la machine étant relativement faible et la demande de vapeur relativement forte, le susdit réglage ne pourrait pas maintenir une pression suffisante, une soupape à fonctionnement automatique admet de la vapeur vive au point de prélèvement, et, d'autre part, au cas où la pression à ce point deviendrait trop élevée, le maximum d'admission au grand cylindre étant atteint, une soupape de décharge s'ouvre automatiquement pour laisser échapper le trop-plein de vapeur.

Tant que la quantité de vapeur prélevée reste inférieure à la moitié de celle qui entre au petit cylindre, le rapport normal des volumes des cylindres peut être maintenu ; sinon, il convient de l'adapter spécialement.

Pour les turbines, on fera simplement la prise assez haut dans l'échelle des roues successives pour que la pression soit toujours suffisante et, au besoin, on disposera un réducteur pour qu'elle ne puisse pas être trop forte. Le prélèvement dans les turbines peut d'ailleurs, sans inconvénient, atteindre la totalité de la vapeur traversant les roues haute pression.

L'économie d'une machine ou turbine à prise de vapeur, tout en restant en principe inférieure à celle d'une machine à contre-pression avec utilisation intégrale de la vapeur d'échappement, se rapproche d'autant plus de ce cas limite qu'il y a moins de vapeur et de chaleur qui s'en va au condenseur.

Nombreuses sont les industries pour lesquelles la combinaison de la force motrice et des chauffages s'impose ; ce ce sont toutes celles dont les besoins de vapeur de chauffage et de fabrication sont de l'ordre d'une à quatre fois la quan-

tité de vapeur qui serait nécessaire pour produire avec une machine à condensation la force motrice de l'usine. On peut citer, en particulier, les brasseries, les sucreries, les papeteries, les fabriques de carton, plusieurs industries du vêtement, telles que : impression sur tissus, apprêts, blanchiments, draperies, fabriques de chapeaux ; les fabriques de produits alimentaires, de colle, de gélatine, de produits chimiques, les tanneries, savonneries, etc.

Il ne faut pas oublier toutefois que les besoins de vapeur et de force motrice ne sont pas toujours simultanés et que cette circonstance peut créer des difficultés et une gêne considérables. C'est pourquoi beaucoup d'industries, dont les besoins de vapeur pris dans leur ensemble seraient suffisants pour leur assurer, par utilisation en cascade, la force motrice nécessaire, sont obligées d'avoir recours aux systèmes mixtes, sous peine d'être, à certains moments, à court de force motrice ou d'avoir à laisser échapper dans l'atmosphère des quantités appréciables de vapeur.

On peut aussi, et c'est une solution qui présente souvent un avantage sérieux, accumuler la chaleur de décharge de la machine non pas sous forme de vapeur, mais sous forme d'eau chaude sous pression, emmagasinée dans des réservoirs bien isolés contre les pertes de chaleur. C'est ainsi qu'opèrent, par exemple, beaucoup de brasseries qui accumulent de l'eau chaude pour en faire usage à un moment déterminé. Les teintures, lavages, blanchiments et industries analogues auraient souvent avantage à procéder de la même façon et pourraient retirer d'une accumulation sous pression non seulement de l'eau chaude, mais même de la vapeur. Enfin, l'accumulation s'applique également au chauffage des bâtiments, mais elle suppose toujours qu'il s'agisse de variations de régime en périodes brèves, de quelques heures tout au plus.

La limite de pression entre les deux emplois de la vapeur — force motrice et chauffage — doit être choisie avec beaucoup de discernement et en tenant compte des prépondérances.

Si les autres emplois de la vapeur l'emportent sur la force motrice, on aura la faculté de fixer cette limite un peu plus haut, ce qui favorise le transport à distance et l'exploitation.

Dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque l'on cherche à tirer le plus possible de force motrice d'une quantité de vapeur donnée (ce qui, au point de vue économique, est d'ailleurs rationnel), on a tout intérêt à abaisser autant que possible la pression d'échappement des machines et, par conséquent, celle d'entrée aux chauffages. Pour y arriver, il est souvent nécessaire d'augmenter les surfaces de chauffe et les sections de passage des appareils d'utilisation existants et de s'accommoder d'une durée plus longue des opérations de chauffage. Rien n'empêche d'ailleurs, pour mieux adapter les moyens aux fins, de prélever de la chaleur à plusieurs étages de pression : entre le petit et le grand cylindre, par exemple, pour la vapeur de cuisson, et après le grand cylindre pour la préparation d'eau chaude. C'est là une combinaison maintes fois réalisée en brasserie ou en teinture.

Il faut reconnaître que bien des applications de vapeur d'échappement sont entravées ou gênées par les modèles et habitudes des constructeurs d'appareils, qui exigent des pressions de vapeur élevées là où une facile modification pourrait permettre l'emploi de pressions plus basses. En général, la diminution de la chute de température dans les échangeurs de chaleur est un problème des plus importants pour la bonne utilisation de la chaleur.

Certaines industries, telles que fabriques de produits chimiques, blanchisseries, teintureries, consomment beaucoup de vapeur et peu de force motrice. Dans de tels cas on devrait néanmoins chercher à produire toute la vapeur à haute pression et à en utiliser la détente pour la production de force motrice, quitte à trouver à celle-ci un emploi par une fabrication annexe, ou à la céder à des industries voisines, ou encore à la verser sous forme d'énergie électrique à un réseau de distribution.

Par contre, il est une catégorie d'établissements industriels qui n'ont besoin de chaleur que dans une faible proportion par rapport à la force motrice : ce sont les filatures, les tissages, les moulins, les mines, les ateliers de travail des métaux, les ateliers de construction. Dans ces établissements, on doit avant tout chercher à abaisser autant que possible le niveau de température auquel on évacue la vapeur qui a traversé les machines et dont on n'a pas d'autre emploi. Lorsque l'application de la condensation rencontre des difficultés, comme c'est le cas pour les machines d'extraction à vapeur et pour les marteaux-pilons, il convient de recueillir la vapeur de décharge de ces machines, soit pour la faire servir à des usages calorifiques, tels que le chauffage de l'eau d'alimentation des chaudières, la préparation de bains pour les ouvriers, le chauffage des ateliers en hiver, soit pour l'utiliser dans les turbines à basse pression productrices de force motrice. Cette utilisation de la vapeur est généralement plus économique que le raccordement direct des appareils à un condenseur central.

Il est peu d'usines qui n'aient pas à assurer le chauffage de leurs ateliers, magasins ou bureaux pendant la saison froide. La dépense de combustible qui en résulte est loin d'être négligeable et se chiffre souvent par 15 et 20 pour 100 de la dépense totale de combustible de l'usine. L'emploi de la vapeur de décharge des machines permet de beaucoup la réduire, ou même, avec une installation judicieuse, de la supprimer presque totalement. Le choix de la pression du chauffage dépendra de la quantité de vapeur nécessaire. Si cette quantité est égale à celle consommée par la machine marchant à condensation augmentée d'environ 50 pour 100, et si la machine n'est pas trop chargée, il suffira, lorsqu'on voudra chauffer, de supprimer le condenseur et d'envoyer la vapeur d'échappement dans les conduites de chauffage, qui devront être agencées de manière à ne pas créer de contre-pression appréciable. Cette condition sera généralement remplie si le chauffage est établi pour la basse pression (inférieure à 300 g : cm² effectifs).

Cette solution, lorsqu'elle est possible, est très simple parce qu'elle peut s'appliquer à des installations existantes : tout au plus faut-il légèrement modifier la compression dans la distribution de la machine chaque fois que l'on passe de la marche à condensation à celle à échappement.

Mais on peut aussi maintenir la condensation et y faire concourir les surfaces mêmes des corps de chauffe. Ce chauffage par le vide est encore plus économique que le précédent et s'applique avec avantage dans les cas où la quantité de vapeur de chauffage est moindre que la consommation de la machine. Un jeu de robinets permet de diriger la vapeur de décharge, soit directement vers le condenseur, soit en partie ou en totalité vers les corps de chauffe et de là au condenseur, et de régler la quantité d'eau employée à la réfrigération de celui-ci suivant les besoins du chauffage. Il pourra arriver que la machine fonctionne avec un vide d'autant moins bon que le chauffage devra être plus intense, c'est-à-dire que la température extérieure sera plus basse. Lorsque les conduites et les corps de chauffe sont bien étanches, le vide peut cependant, loin d'être amoindri, devenir

meilleur lorsque le chauffage est en service. En tout cas, s'il s'agit d'une machine à piston, la consommation ne sera que faiblement affectée par les variations du vide.

Dans ce système, les surfaces de chauffe devront être à peu près doubles de ce qu'elles seraient avec de la vapeur à basse pression.

Ce mode de chauffage direct par le vide est très employé en Amérique. En France, on lui a préféré jusqu'ici les modes indirects par aérocondenseur ou à eau chaude, d'ailleurs équivalents au point de vue économique. Sous l'une ou l'autre forme, le chauffage par le vide mériterait, même au prix d'installations ou de modifications onéreuses, d'être plus répandu qu'il ne l'est actuellement, car il permettrait de réaliser des économies de combustible très sensibles.

Allant plus loin, il est permis d'entrevoir que certains établissements producteurs de force motrice, en particulier les stations urbaines, pourraient céder et distribuer de la chaleur de décharge sous forme de vapeur à très basse pression ou d'eau chaude soit pour le chauffage d'habitations, soit pour des bains publics, des lavoirs ou établissements analogues, en adaptant le vide de leurs machines aux besoins de chaleur et en intercalant des accumulateurs appropriés.

ÉVAPORATIONS. — Nous avons vu jusqu'ici comment on peut récupérer et utiliser la chaleur qui se dégage et s'échappe lors de la production de travail mécanique. Mais cette opération n'est pas la seule au cours de laquelle il se perd de la chaleur. Dans l'évaporation, la concentration des liquides, la distillation, le séchage, on ne cherche pas à obtenir de la vapeur, mais uniquement à éliminer l'eau ou à transporter le liquide d'un récipient dans un autre pour le séparer des corps avec lesquels il est mélangé. Toute la chaleur de la vapeur et des buées qui se dégagent lors de ces évaporations (et c'est de beaucoup la plus grande partie de la chaleur mise en œuvre) est entièrement perdue et ne concourt pas directement au résultat à atteindre. C'est pourquoi on a cherché depuis longtemps à capter cette vapeur ou ces buées et à en utiliser la chaleur. On peut employer celle-ci à des usages divers, par exemple au chauffage préalable du liquide à évaporer, ce qui toutefois n'en absorbe qu'un sixième environ.

On ne saurait la faire resservir à l'évaporation proprement dite : en effet, la température de la vapeur recueillie sera au plus égale à celle du liquide dont elle émane, et sa température de saturation pourra être nettement inférieure, en particulier pour les solutions salines, avec un écart d'autant plus grand que la solution est plus concentrée. On ne peut donc songer à ramener cette vapeur telle quelle dans le serpentin ou le double fond de la cuve d'évaporation, puisqu'il est indispensable, pour que la chaleur de vaporisation soit transmise, que la vapeur de chauffage ait une température de saturation plus élevée que la température du liquide à évaporer.

Deux procédés sont toutefois possibles pour écarter cette difficulté : ou bien abaisser le niveau de température d'une partie du liquide à évaporer, ou bien au contraire remonter le niveau de température de la vapeur dégagée, de manière à pouvoir l'utiliser. Examinons ces deux procédés successivement.

Pour abaisser la température d'un liquide en ébullition, il n'existe qu'un seul moyen, c'est de diminuer la pression qui repose sur ce liquide. La mise en pratique de ce moyen se présente alors comme suit. On chauffe une partie du liquide à évaporer dans un premier échangeur de chaleur, c'est-à-dire au travers d'une surface de chauffe, par de la vapeur vive ou par de la vapeur d'échappement ayant déjà travaillé

dans une machine. Tandis que cette vapeur se condense, le liquide s'évapore partiellement et dégage une certaine quantité de vapeur, qui se trouve à une pression inférieure à la pression primitive. Cette vapeur est reprise par un deuxième appareil semblable au premier et sert à son tour de vapeur de chauffage. Si elle a été dégagée dans le premier corps à la pression atmosphérique, par exemple, il suffira de faire au-dessus du liquide du deuxième corps un vide partiel pour que la chaleur puisse traverser la surface de chauffe et produire l'évaporation. La vapeur produite dans le second corps peut naturellement être utilisée de la même manière dans un troisième corps à pression plus basse et ainsi de suite jusqu'au vide complet, chaque corps servant de condenseur à celui qui précède et de générateur à celui qui suit. On réalise ainsi l'évaporation en cascade à des pressions décroissantes dans les appareils dits à multiple effet.

Si le liquide à évaporer est chauffé au préalable par épauement des purges et introduit dans l'appareil évaporatoire à une température voisine de celle de l'ébullition, la quantité de vapeur produite dans chaque corps est, à quelques centièmes près, égale à celle qui a servi au chauffage.

Un appareil à n effets vaporisera donc sensiblement n fois la quantité primitive; c'est seulement la chaleur latente de vaporisation du dernier corps qui passera au condenseur et ne pourra plus être récupérée, tout au moins sous la même forme ni au même degré.

La chute de pression produite par le fonctionnement de chaque évaporateur individuel est très variable avec la quantité de liquide évaporée par mètre carré, la concentration de ce liquide, la propreté des surfaces de chauffe et la circulation. Le nombre d'effets possibles dépendra donc des circonstances précédentes et de la chute de pression totale dont on disposera, compte tenu de la possibilité d'évaporer sous haute pression et de l'avantage de l'emploi de vapeur d'échappement. En pratique, on dépasse rarement quatre ou cinq effets.

Ces appareils à effets multiples sont employés sur une très vaste échelle dans toutes les industries qui ont de grandes quantités de liquide à évaporer, telles que les sucreries, les distilleries, les fabriques d'extraits, les salines, etc.; ils ont permis de réaliser des économies de combustible considérables.

La seconde solution pour réutiliser la chaleur contenue dans la vapeur qui se dégage d'un liquide en ébullition consiste, ainsi que nous l'avons dit, à en remonter le niveau de température. C'est par la compression qu'on y arrive. Il est à noter que l'augmentation de la température par surchauffe à pression constante ne serait pas efficace, puisque la vapeur ne peut céder sa chaleur de vaporisation qu'à la température de saturation.

Mais alors, plus n'est besoin d'un deuxième appareil pour utiliser cette vapeur comprimée. On peut la ramener dans le serpentin ou la chambre de chauffe du même appareil, dont la surface utile devra naturellement être agrandie en conséquence. Si, en outre, on épuise l'eau de condensation de cette chambre pour réchauffer jusqu'à la température d'ébullition le liquide à évaporer, on voit que, aux pertes près, la chaleur évolue dans un cycle fermé, passe à travers la surface évaporatoire par l'effet d'une chute de température et est ensuite remontée par le compresseur à son niveau primitif.

Ce compresseur peut être, soit un compresseur à pistons, soit un turbo-compresseur ou, pour de très faibles différences de pression, un simple ventilateur. Ce peut être encore un appareil à jet de vapeur dans lequel, par la détente d'une certaine quantité de vapeur vive, on obtient la

compression d'une plus grande quantité de vapeur à faible pression.

Quoi qu'il en soit de ces modalités, ce système de régénération, préconisé et breveté en 1833 par un Français, Pelletan, permet, par un appoint relativement faible d'énergie mécanique ou de vapeur à haute pression, de rendre utilisable, c'est-à-dire en quelque sorte de valoriser, de la chaleur qui sans cela serait presque complètement perdue en raison de son niveau de température trop bas. On l'a dénommé évaporation par compression, ou thermo-compression, ou encore auto-évaporation.

En effet, le liquide s'évapore en quelque sorte par ses propres moyens, c'est-à-dire par l'action d'une vapeur issue de lui-même, et le travail de compression de cette vapeur est le seul apport extérieur fourni au système, supposé parfaitement à l'abri des refroidissements. Pour une quantité de vapeur donnée, ce travail de compression est d'autant plus faible et l'économie du procédé d'autant grande que la chute de température au passage de la chaleur à travers la paroi est plus petite.

On conçoit donc que la principale préoccupation dans ce genre d'appareils soit d'obtenir le passage de la chaleur avec la chute de température la plus faible possible et, par conséquent, de maintenir une circulation très active et une propreté presque absolue des surfaces. Ces conditions sont souvent difficiles à remplir, surtout pour des solutions qui donnent lieu à des dépôts ou à une cristallisation. C'est pour la même raison que l'emploi de la compression des vapeurs devra se limiter au traitement de solutions peu concentrées sous peine de voir le rendement décroître outre mesure par suite de l'élévation de la température d'ébullition.

Toutes autres choses égales, on a intérêt à choisir la pression initiale aussi élevée que possible, parce que le travail de compression, pour obtenir la même élévation de température, diminue quand la pression augmente. Il en est de même des dimensions des compresseurs.

Cependant l'évaporation sous des pressions élevées se heurte à des difficultés dans la construction des appareils et n'est applicable qu'à certaines substances; la plupart des matières organiques ne les supportent pas sans s'altérer.

Certaines solutions exigent même que leur concentration se fasse à une seule température bien déterminée; l'évaporation par compression présente dans ce cas un avantage sur le multiple effet, qui opère forcément à différents étages de température.

Les premières réalisations pratiques de la compression des vapeurs remontent à quarante ans. Dans les dernières années, les appareils à injecteur de vapeur paraissent devoir prévaloir, en raison de leur grande simplicité; mais les progrès récents de toutes les machines rotatives, et en particulier des turbo-soufflantes, permettent d'élargir considérablement le champ d'application des compresseurs mécaniques rotatifs. Dans cet ordre d'idées, il importe d'avoir des compresseurs à grand débit, à haut rendement, sans graissage intérieur et résistant aux effets des entraînements de liquides et de sels. Quant à la surchauffe qui se produit lors de toute compression, elle peut, lorsqu'elle devient gênante, être facilement évitée par une injection d'eau pulvérisée ou un saturateur.

Comparons, du point de vue économique, l'évaporation par compression avec l'évaporation simple ou à multiple effet.

L'économie de cette dernière est presque uniquement fonction du nombre d'effets adopté et reste, à peu de chose près, constante pendant le cours des opérations, les chutes de température partielles devant toujours être choisies assez

grandes pour qu'une faible incrustation des surfaces ne diminue pas trop l'évaporation.

Par contre, dans le procédé avec compression, l'économie est essentiellement variable, non seulement selon l'espèce de l'élaboration envisagée, mais encore, pour une même application, dans le cours des opérations. En effet, si elle varie, bien entendu avec le rendement du compresseur, elle dépend surtout de la chute de température au passage de la surface de chauffe et diminue par conséquent avec l'accroissement de la concentration du liquide et l'entartement des surfaces.

Théoriquement, dans le cas idéal d'une machine réversible, chaque unité de travail peut récupérer autant de fois son équivalent calorifique que la différence de température qui s'établit dans l'appareil évaporatoire est contenue dans la température absolue de la vapeur à comprimer; sans compter son propre équivalent qui vient, aux pertes extérieures près, s'ajouter à la chaleur récupérée.

Ce serait donc, en partant de vapeur saturée à la pression atmosphérique, $\frac{375}{5} = 75$ fois son équivalent pour 5° de différence de température, 25 fois pour 15°.

En pratique, ces chiffres seront toutefois réduits dans de très grandes proportions.

Ainsi, considérons le cas des compresseurs à jet de vapeur dans lesquels la vapeur est détendue d'une pression initiale de 6 ou de 12 kg : cm², à une pression voisine de l'atmosphère. Théoriquement cette détente devrait permettre de transformer en énergie cinétique une fraction égale à 13 ou à 18 pour 100 de la chaleur totale de la vapeur vive. Mais il est connu que les injecteurs et les trompes ont d'ordinaire un très mauvais rendement, qui ne dépasse guère 20 pour 100. Prenons pour base de calcul le chiffre de 20 pour 100. Le travail de compression qui sera obtenu ne représentera donc que $0,13 \times 0,2 = 0,026$ ou $0,18 \times 0,2 = 0,036$, soit en moyenne 3 pour 100 de la chaleur totale de la vapeur vive. Si l'appareil évaporatoire travaille avec une chute de température de 5°, chaque calorie de la vapeur vive envoyée à l'appareil à jet pourra régénérer $75 \times 0,03 = 2,25$ calories puisées dans la vapeur se dégageant du liquide à évaporer. Et comme, à la fin de la compression, toute la vapeur ayant servi à actionner l'appareil à jet se retrouve mélangée à la vapeur comprimée, le résultat de l'opération sera, en fin de compte, un peu meilleur que celui d'un triple effet.

Si la différence de température à la surface de l'échangeur montait à 15°, les autres hypothèses restant les mêmes, chaque calorie de vapeur vive ne pourrait plus régénérer que $25 \times 0,03$, c'est-à-dire trois quarts de calorie de la vapeur dégagée par l'évaporation du liquide et, compte tenu de l'apport de la vapeur vive, on obtiendrait une évaporation à peine équivalente à celle d'un double effet.

Les compresseurs mécaniques sont sensiblement plus économiques lorsque l'installation est bien comprise. Mais il est indispensable pour cela que non seulement le compresseur, mais aussi et surtout la machine thermique qui l'actionne, aient de bons rendements, c'est-à-dire que la détente de la vapeur à haute pression soit utilisée au mieux pour la production du travail mécanique. On peut admettre que le rendement d'un bon compresseur rotatif est de l'ordre de 50 à 60 pour 100, soit en moyenne 55. Si le moteur à vapeur qui commande ce compresseur a un rendement thermique de 16 pour 100 rapporté à la puissance effective (ce qui correspond à une consommation par cheval-heure effectif de $\frac{632}{0,16}$ ou 3 950 calories), il se retrouvera dans le travail de compression une fraction égale à $0,16 \times 0,55 = 0,088$ de la

chaleur totale de la vapeur à haute pression. Une calorie de vapeur dépensée dans la machine motrice pourra donc régénérer par compression $75 \times 0,088 = 6,6$ calories puisées dans la vapeur se dégageant du liquide à évaporer. Si la différence de température dans l'évaporateur est de 5°, ou 2,2 calories si cette différence est de 15°.

On voit que, dans ces conditions, la compression mécanique des vapeurs peut égaler et même dépasser, sous le rapport de l'économie thermique, les effets multiples, lorsque la chute de température dans les appareils évaporatoires est faible. Elle permet d'entrevoir la possibilité d'autres applications que l'on ne pourrait aborder avec le multiple effet, telles que la récupération des vapeurs et buées de séchage.

Mais le procédé perdrait tout ou partie de son intérêt si le rendement du moteur actionnant le compresseur était moindre : s'il n'était, par exemple, que de 8 pour 100 au lieu de 16, une calorie de vapeur à haute pression ne pourrait plus régénérer que 1,1 calorie de vapeur à basse pression au lieu de 2,2, dans l'hypothèse où il faudrait remonter de 15° le niveau de température de cette vapeur.

Les mêmes réserves seraient à faire dans le cas où le travail mécanique de compression serait prélevé sur la distribution d'une centrale électrique à vapeur, dont le fonctionnement comporte des transformations multiples de l'énergie potentielle du charbon.

Par contre, le procédé de compression permet d'envisager l'utilisation de l'énergie hydroélectrique, pour des opérations thermiques d'évaporation ou de concentration, d'une manière bien plus avantageuse que par la transformation directe de l'énergie électrique en chaleur. En effet, cette transformation directe ne peut donner, au maximum, que 860 calories par kilowatt-heure (pratiquement 1,2 à 1,3 kg de vapeur), tandis que, avec un compresseur électrique, dont le rendement global serait de l'ordre de 0,5, on pourrait rendre utilisable, en outre, pour une évaporation $25 \times 0,5$ ou $75 \times 0,5$, c'est-à-dire plus de 12 ou plus de 37 fois la quantité de chaleur susdite et évaporer, par kilowatt-heure, 15 ou 45 kg d'eau.

C'est là un emploi extrêmement intéressant des forces hydrauliques en excédent, disponibles par exemple pendant la nuit, et qu'actuellement on laisse se perdre ou que l'on dégrade, faute de mieux, en les transformant directement en chaleur dans les chaudières électriques.

Quoi qu'il en soit, on voit par l'ensemble de l'exposé ci-dessus que le champ d'application de la régénération de la vapeur par compression mécanique comporte des limites. En particulier, on ne saurait envisager, à l'heure actuelle et avec la vapeur d'eau un procédé général de chauffage fondé sur ce principe et puisant la chaleur au niveau de la température ambiante.

CONCLUSIONS. — Au cours de ce rapport sur la production (1) et l'utilisation de la vapeur, nous avons eu à maintes reprises l'occasion d'attirer l'attention sur des détails d'entretien et d'emploi, souvent négligés et qui ont néanmoins une influence marquée sur la marche économique des installations.

Il en est ainsi, entre autres, de la conduite attentive des feux, du bon entretien des maçonneries, du nettoyage fréquent des surfaces de chauffe, du maintien de la pression, de la surchauffe et du vide, du contrôle et du réglage périodique de la distribution des machines, de la récupération des purges et de la restriction des chauffages non indispensables.

(1) Nous rappelons que la première partie du rapport a paru au *Journal officiel* du 20 février 1921. *R.G.E.*, 23 avril 1921, t. IX, p. 574.

Ce sont là des soins de détail et de tous les jours qui exigent de la part des exploitants, ainsi que de leur personnel, une attention soutenue et une surveillance méthodique. Ils n'entraînent pour ainsi dire aucune dépense supplémentaire, ni d'argent, ni de temps, et donnent un bénéfice immédiat, qui, dans bien des cas, se chiffre par des 10 et 20 pour 100 de la dépense de combustible.

L'ensemble de ces soins constitue la première et indispensable étape pour l'amélioration de l'économie générale de l'emploi des combustibles, et aucun chef d'exploitation ne devrait s'en désintéresser.

Cependant, dans beaucoup d'industries, il y a plus à faire. Il y aura, par exemple, un réchauffeur à ajouter à la suite de chaudières trop poussées, des conduites ou des surfaces rayonnantes à isoler, un surchauffeur à installer, une ancienne machine à vapeur, consommant trop, à modifier ou à remplacer, un procédé de fabrication ou un appareil quelconque, exigeant une trop forte dépense de vapeur, à changer.

Ces travaux, dont le but essentiel sera de supprimer ou d'éviter un gaspillage évident de chaleur, nécessiteront des dépenses qui, dans la plupart des cas, seront amorties en quelques mois, ou tout au plus en deux ou trois ans, par l'économie certaine de combustible qui en résultera. Il n'est pas un homme d'affaires qui hésiterait à engager de telles dépenses.

A l'occasion des remplacements de machines, qu'elles soient usées ou trop faibles, ou simplement qu'elles consomment trop, se posera presque toujours la question du choix de la force motrice. Lorsqu'il s'agira d'industries n'ayant besoin que de force motrice, sans aucun chauffage ou autre emploi de vapeur, le raccordement à un réseau de distribution électrique sera souvent, à condition bien entendu que le prix de vente du courant ne soit pas exagéré, la solution la plus simple et la plus avantageuse, surtout pour les petites puissances et les puissances très variables ou intermittentes. Ce raccordement déchargera notamment l'industriel des soucis d'achat de combustible et de toutes les préoccupations qui découlent de la marche d'une installation de chaudières et de force motrice.

Cependant, pour les puissances moyennes, dépassant 100 ch, par exemple, la question mérite d'être examinée de plus près au point de vue de l'économie de combustible. En effet, si les centrales électriques qui consomment moins de 1 kg de charbon par kilowatt-heure net, disponible à leur tableau de départ, sont actuellement l'exception, les machines à vapeur d'usines et d'ateliers et les machines demi-fixes qui produisent le cheval-heure effectif à raison de 1 kg de houille sont nombreuses et l'on peut compter que les pertes de distribution, de transformation et de

marque à vide des réseaux égalent la différence entre le cheval-heure et le kilowatt-heure.

Et cette équivalence tourne à l'avantage de la production sur place chaque fois qu'il y a des besoins importants de chaleur et de vapeur qui peuvent se combiner avec la force motrice.

Ainsi qu'il a été exposé dans la dernière partie de ce rapport, la combinaison de la force motrice et des autres besoins de vapeur peut prendre les formes les plus variées et s'appliquer dans des cas beaucoup plus fréquents qu'on ne le suppose en général, parce qu'elle peut servir avec avantage même au chauffage des ateliers et bâtiments, qu'il faut assurer dans la plupart des industries. Cette combinaison exigera quelquefois des modifications profondes dans les installations : élévation de la pression de marche, renouvellement des chaudières et machines, abaissement de la pression aux chauffages, agrandissement des surfaces des appareils, etc. Les dépenses qui en résulteront, sans s'amortir toujours en quelques mois, constitueront néanmoins un placement fructueux.

Il faudra, toutefois, que les ingénieurs et constructeurs se familiarisent plus encore que jusqu'ici avec l'ensemble des emplois de la chaleur et de la vapeur; que non seulement ils s'ingénient à étudier et à construire des chaudières et machines thermiques de plus en plus parfaites, mais qu'ils envisagent l'économie d'ensemble d'une usine ou d'un procédé de fabrication et qu'ils créent, à cet effet, des machines spéciales et des appareils pouvant utiliser des pressions et des chutes de température aussi faibles que possible.

Il faudra, d'autre part, que les chefs d'exploitation s'accoutument d'une utilisation multiple de la vapeur pour la force motrice et leurs autres besoins, même s'il devait en résulter des complications ou une certaine gêne; enfin, que les industriels consentent à engager les dépenses qui sont nécessaires pour l'utilisation complète et rationnelle de la chaleur. Toute dépense et tout progrès dans cet ordre d'idées présente, à côté de l'intérêt particulier, un intérêt national, parce qu'il améliore l'outillage et permet de réduire les prix de revient et de lutter avec plus de chance de succès contre la concurrence de l'étranger, où souvent, malgré une situation charbonnière plus favorable que la nôtre, la recherche de l'économie de combustible est poussée très loin.

Il importe que sur ce terrain l'industrie française ne se laisse pas dépasser.

Le rapporteur,

V. KAMMERER.

Vu :

Le président de la sous-commission.

LOIRET.

Revue, analyses et informations

Au sujet de l'unification des hautes tensions en Suisse (1).

L'auteur, au nom du Secrétariat général de cette Association, présente un certain nombre de réflexions concernant le choix d'un système de hautes tensions normales. Nous ne saurions résumer ici tous les points de vue intéressants d'où

l'auteur examine le sujet qui lui a été confié. Bornons-nous à l'analyse des arguments essentiels, dont l'intérêt sera le même pour tous les pays où le développement des réseaux électriques est probable.

GÉNÉRALITÉS. — Les différentes classes de tensions sont définies par les caractères suivants :

Les basses tensions sont limitées, vers les valeurs inférieures par des considérations d'économie, et vers les valeurs

(1) WYSSLING. *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, avril 1921, t. XII, n° 4, p. 83-99, 7 500 mots, 3 tab., 2 fig.

supérieures par les facilités d'installation et l'apparition du danger.

Les hautes tensions modérées sont fixées par suite des conditions suivantes :

a) Même pour celles-ci, on doit pouvoir construire des petits transformateurs à usages locaux, bon marché et d'une installation facile ;

b) Les usines doivent pouvoir brancher les circuits d'alimentation de certains gros moteurs sur ces hautes tensions modérées ;

c) Les hautes tensions modérées doivent pouvoir être produites directement par le générateur sans transformation et permettre l'emploi des régulateurs de tension ;

d) L'appareillage, en particulier le prix des interrupteurs, doit être économique ;

e) Enfin ces tensions doivent pouvoir traverser sur lignes aériennes les localités et être distribuées également par câbles souterrains.

Les hautes tensions seront celles qui permettent la transmission de l'énergie à longue distance, ce qui n'est possible qu'à l'aide de transformateurs élévateurs de tension.

Les basses tensions sont comprises entre 110 et 600 v.

Le type de la haute tension modérée est, d'après l'auteur, celle comprise entre 2 000 et 16 000 v.

Il est à remarquer que la nécessité d'une série continue de tensions allant des plus basses aux plus élevées ne s'impose pas, pour établir une sorte de continuité entre les classes.

Au contraire, dans l'intérêt du progrès, il est nécessaire de réduire autant que possible le nombre des tensions normales et de laisser une marge assez grande entre les différentes classes.

Si l'on décide d'adopter plusieurs hautes tensions comme normales, il sera bon de les choisir telles qu'elles soient entre elles comme le rapport de transformation bien connu $\sqrt{3}$.

LES HAUTES TENSIONS ACTUELLEMENT EMPLOYÉES EN SUISSE. — Nous reproduisons ci-dessous (fig. 1) un tableau dressé à

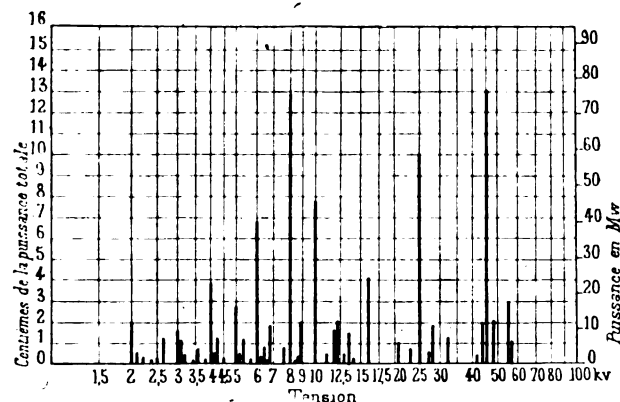


Fig. 1.

l'aide de chiffres statistiques, et qui a guidé l'auteur dans l'examen de la répartition actuelle des hautes tensions en Suisse et de l'importance du rôle joué par chacune.

Les abscisses représentent les tensions en kilovolts, mesurées aux bornes des circuits primaires des stations de transformation. L'ordonnée représente le nombre de mégawatts fournis par l'ensemble des stations de transformation suisses fonctionnant sous même tension primaire. Il est à remarquer que l'échelle choisie par l'auteur pour les abscisses n'est

pas décimale, mais logarithmique, ce qui répond mieux à la nature des choses. Car, toujours à cause du facteur $\sqrt{3}$, les hautes tensions se succèdent dans l'échelle des valeurs suivant les termes d'une progression géométrique, et non arithmétique.

L'examen de ce tableau fait ressortir la division des deux classes de tensions, les hautes tensions modérées et les hautes tensions proprement dites.

Les hautes tensions modérées se groupent autour des valeurs 6 000 v, 8 000 v, 10 000 v et 16 000 v et la classe des hautes tensions se groupe autour de 25 000 v et 45 000 v.

SUGGESTIONS CONCERNANT LES VALEURS DES TENSIONS NORMALES A ADOPTER. — A. *Groupe des hautes tensions modérées.* — Du point de vue idéal il serait à souhaiter l'élection d'une seule valeur de tension pour ce groupe, et, pour diverses raisons, la tension de 15 à 16 000 v paraît indiquée.

Du point de vue pratique, il paraît difficile de s'en tenir à cette unique tension. D'abord, à cause du très grand nombre d'installations à tension inférieure, qui seraient dans l'impossibilité de procéder au changement. Ensuite, parce qu'un grand nombre de constructeurs et de producteurs considèrent cette tension comme trop élevée pour subvenir aux exigences de modestes installations.

Il est donc fondé de recommander une autre tension inférieure comme normale, soit $\frac{15\,000}{\sqrt{3}}$, c'est-à-dire 8 ou 9 kv,

et aussi un deuxième système de tension, soit 10 kv et $\frac{10}{\sqrt{3}} = 6$ kv environ, également pour adapter le système

de normalisation à l'existence des nombreuses installations équipées actuellement avec ces tensions.

B. *Groupe des hautes tensions.* — L'auteur a expliqué qu'aucune dépendance entre la première des hautes tensions et la plus voisine des hautes tensions modérées n'a besoin d'exister, ces deux groupes répondant à des conceptions, à des modalités d'application suffisamment différentes pour que même le célèbre rapport $\sqrt{3}$ soit ici à écarter.

L'auteur propose donc 40 à 50 kv, tension déjà très répandue, d'un emploi économique pour la transmission à distance, permettant encore l'emploi d'isolateurs fixes, de fils assez rapprochés, par conséquent de pylônes de construction simple. On penserait à proposer la tension de 25 kv. Mais il est reconnu que cette tension n'est pas économique ; du reste, nombre de réseaux fonctionnant sous cette tension se transforment pour adopter 40 ou 50 kv. Par conséquent, la nécessité d'une haute tension inférieure à 40 ou 50 kv est discutable.

Mais il est indispensable de désigner de plus hautes tensions. Les très hautes tensions, entre 110 et 150 kv, sont des problèmes d'avenir et aucune expérience en Suisse ne peut donner pour cette partie de la discussion l'appoint de données pratiques.

En résumé, on peut considérer la question du choix des hautes tensions sous plusieurs aspects différents. Si l'on songe uniquement à l'avenir, la désignation de très hautes valeurs s'impose. Si l'on ne se préoccupe que des installations actuelles, il faut adapter à celles-ci le nouveau système. Si l'on a en vue des intérêts tels que les besoins de l'exportation, on est conduit à adopter toute une série de hautes tensions très diverses.

EXAMEN DE DIVERS PROJETS DE NORMALISATION DES HAUTES TENSIONS. — Dans ce dernier chapitre, l'auteur, prenant comme

thème des projets de normalisation déjà publiés. les discute à la lueur des réflexions précédentes. Il termine en résumant les divergences d'opinions sous forme d'un questionnaire en plusieurs points, auquel il convie le lecteur de répondre.

L. C.

Au sujet des lampes à arc à éclat intrinsèque élevé ⁽¹⁾.

On sait que l'éclat de l'image donnée par un projecteur peut être accru, dans une certaine proportion, en agissant sur la grandeur de l'angle d'ouverture et sur les dimensions du système optique correspondant (miroirs concaves, lentilles, etc.). Ces moyens ont été utilisés avec succès (lentilles de Fresnel de 3,5 m de diamètre et de 180° d'angle d'ouverture; miroir parabolique de 2 m de diamètre et de 120° d'angle d'ouverture); mais les résultats acquis, qui remontent d'ailleurs à une date déjà assez ancienne, paraissent marquer une limite qui ne saurait, pratiquement, être dépassée. Pour réaliser de nouveaux progrès dans la voie envisagée, on a été, dans ces conditions, naturellement conduit à recourir au procédé direct, consistant dans le renforcement de l'éclat intrinsèque de la source lumineuse.

Comme source de lumière de haute température et, partant, d'éclat intrinsèque élevé, seul mérite d'être pris en considération le cratère positif de la lampe à arc; la température développée dans l'arc sous la pression atmosphérique (3 700° environ, par rapport au zéro absolu) correspond, ainsi que Violle l'a montré, à la température de sublimation du charbon, sous ladite pression; on ne peut songer à l'augmenter en agissant seulement sur l'intensité du courant, l'accroissement de ce dernier facteur n'ayant pour effet que d'agrandir le cratère sans influer en rien sur l'éclat surfacique dont la valeur peut être estimée à 160 bd : mm² environ. L'accroissement de la pression doit, par contre, à priori, donner des résultats positifs dans le sens indiqué; et, effectivement, Lummer a pu, avec une lampe à arc, sous pression, fonctionnant sous 6 atmosphères, obtenir un éclat de 1 070 bd : mm² (soit six fois celui réalisé dans la lampe à arc ordinaire), avec une température de 7 500°, par rapport au zéro absolu; le système de la lampe, conçu d'après ce principe, n'a pu toutefois trouver son emploi dans la pratique, pour un service de projecteurs, en raison des difficultés insurmontables rencontrées au point de vue de la construction, pour réaliser un appareil d'agencement et de maniement assez simple pour donner satisfaction dans le genre d'applications envisagé.

Quelques années avant Lummer, Heinrich Beck était parvenu, en suivant un chemin tout différent, à accroître du simple au triple l'éclat de la lampe à arc normale; le résultat était obtenu en incorporant dans les charbons des sels métalliques, de composition appropriée et en renforçant l'intensité du courant; le développement des dimensions apparentes du cratère était, en même temps, limité, en recourant, notamment, aux procédés suivants: emploi d'une mèche de fort diamètre, ou mise à l'abri de la partie incandescente du charbon positif contre l'oxydation, par une atmosphère de gaz d'éclairage ou de vapeurs d'alcool.

La fabrication des projecteurs, système Beck, a été entreprise dès 1917 par la Société de Construction d'Appareils d'Optique C.-P. Goerz, à Leutsch près de Leipzig, et la lampe, en particulier, a fait l'objet depuis cette époque d'études approfondies de la part de G. Gehlhoff, H. Schering et F. Thilo.

On a essayé, d'abord, d'accroître encore, si possible, l'intensité du courant; mais, sans succès, de la suite se formant dans ces conditions, en quantité notable, par suite de la vaporisation rapide du charbon; les efforts des expérimentateurs se sont alors portés sur la recherche d'une qualité spéciale de charbon capable de supporter les densités de

courant élevées sans donner lieu aux inconvénients signalés: le résultat a été la production de crayons de composition nouvelle donnant, pour une intensité de 225 A au lieu de 150 A et sous le même diamètre que ceux utilisés dans la lampe Beck originale (16 mm) un éclat surfacique de 1 115 bd : mm², avec une température de 5 100° par rapport au zéro absolu. Dans les projecteurs de 2 m de diamètre, l'intensité du courant a pu être même portée à 300 A. Les nouveaux charbons possèdent, en outre, l'avantage de s'user moins vite, de n'émettre que peu de fumée et le cratère formé reste plat au lieu de présenter une concavité très accusée comme ceux utilisés dans la lampe Beck du type primitif.

L'emploi d'une atmosphère de gaz d'éclairage autour de la partie incandescente du charbon positif a pu, d'ailleurs, être supprimé en disposant dans cette région un tube en matière réfractaire de diamètre légèrement supérieur à celui du crayon; l'oxyde de carbone, qui se produit dans ces conditions par suite de l'oxydation superficielle du charbon forme une enveloppe assurant une protection aussi efficace que le gaz d'éclairage.

Le projecteur Goerz-Beck, grâce aux perfectionnements signalés, ne se distingue plus, à part l'éclat qui le caractérise, d'un projecteur ordinaire et son maniement n'est pas plus compliqué. Les résultats obtenus avec ce type d'appareil ont été résumés dans le tableau suivant :

| DIAMÈTRE DE MIROIR DU PROJECTEUR cm | DIAMÈTRE DE CHARBON mm | AMPÈRES | ÉCLAT DU PROJECTEUR POUR UNE ÉPAISSEUR D'AIR DE VALEUR NULLE millions de bd | SYSTÈME |
|-------------------------------------------------|---------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 110 | 36,5 | 150 | 85 | Normal. |
| 110 | 16,0 | 140 | 205 | Beck. |
| 110 | 16,0 | 225 | 500 | Goerz-Beck. |
| 200 | 38,0 | 200 | 312 | Normal. |
| 200 | 18,5 | 300 | 1 785 | Goerz-Beck. |

Le projecteur Goerz-Beck de 2 m possède, comme on le voit, un éclat de 1 785 000 000 bd; c'est-à-dire que, supposé placé à la même distance que la lune, il serait visible à l'œil nu en donnant l'apparence d'une étoile de sixième grandeur. Ce fait a son importance au point de vue de la télégraphie optique, dont l'application pratique, à travers les vastes espaces de l'univers, apparaît désormais possible.

Les perfectionnements apportés à la lampe Beck ne se limitent d'ailleurs pas aux types et appareils pour fortes intensités de courant; des modèles ont été également créés pour des intensités décroissantes jusqu'à 15 A minimum et pour les deux genres de courant, continu et alternatif. Avec ces dernières lampes, on emploie des charbons cuivrés qui ne nécessitent, du reste, ni manœuvre (rotation des crayons, par exemple) ni dispositif de protection spéciaux. L'éclat est accru, par rapport à la lampe à arc ordinaire, dans la proportion de 1 à 2 ou 4, suivant l'intensité du courant absorbé. La lumière émise est beaucoup plus blanche et donne un bel effet, en particulier pour la projection de vues colorées et surtout de vues autochromes.

La lampe Goerz-Beck à intensité de courant modéré est destinée à rendre de grands services pour la photographie et la reproduction des images ainsi que pour la microscopie et l'ultramicroscopie, en raison des radiations à faible longueur d'onde qui rentrent, dans une forte proportion, dans la composition du spectre qui la caractérise.

Les nouveaux appareils se distinguent, enfin, par une consommation d'énergie fortement diminuée par rapport à celle des lampes ordinaires; l'économie réalisée, à quantité égale de lumière émise, atteint 75 pour 100.

L. D.

(1) Georg. GEHLHOFF, E. T. Z., 17 novembre 1921, t. XLII, p. 1315-1316, 1800 mots, 1 tabl.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Les Chambres de Métiers

Le « Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale » de novembre 1921 publie, p. 1 205-1 206, la note suivante, où l'auteur, M. Georges Rissler, rappelle succinctement les raisons qui ont conduit à envisager la création de Chambres de métiers, puis indique les quelques chambres actuellement existantes.

La question de l'apprentissage et celle de l'orientation professionnelle sont tout particulièrement à l'ordre du jour.

Il est urgent de les résoudre au plus vite, car il est pénible de constater que, dans notre pays, où les corporations furent si puissantes durant sept siècles environ, le nombre des bons ouvriers décroît rapidement et que, certains même, sabotent avec plus de plaisir qu'ils ne produisent. L'idéal paraît être pour quelques-uns, de travailler toujours moins pour gagner toujours davantage et l'on peut lire dans certaines feuilles que le travailleur parce qu'ennemi du patron est ennemi du travail ».

L'Opinion et les Pouvoirs publics comprennent maintenant l'intérêt essentiel de cette question.

La section d'Hygiène urbaine et rurale et de Prévoyance sociale du Musée social a discuté récemment un rapport extrêmement remarquable de M. Douane, président de la Chambre syndicale des Entrepreneurs de Maçonnerie, sur l'apprentissage. Des conférences sont données sur tous les points du territoire grâce à l'initiative des chambres de commerce et des chambres de métiers ; « les Compagnons du devoir » réunis en congrès, à Paris, en septembre dernier, n'ont pas craint de proclamer qu'ils considéraient le travail comme « une fin » et « qu'une fois leur tâche terminée, ils se considéraient, avant d'avoir reçu le moindre salaire, comme déjà payés par la satisfaction d'avoir créé quelque chose de beau, d'utile et de durable ».

Il y a quelques semaines, le 11^e Congrès de l'apprentissage se tenait à Lyon, la ville laborieuse par excellence ; les plus importantes questions y furent traitées par des hommes compétents et éclairés appartenant à diverses nations.

De son côté, le Parlement a voté en 1919, la loi Astier, qui organise l'enseignement technique et particulièrement les cours complémentaires des apprentis. Pour en faciliter l'application, M. Millerand, lorsqu'il fut appelé à la présidence du Conseil, créa le sous-secrétariat de l'Enseignement technique qui s'est employé à multiplier le nombre des comités départementaux d'enseignement technique et d'offices d'orientation professionnelle.

Ces derniers sont chargés de centraliser toutes les indications concernant la nature physique et les capacités intellectuelles de chaque enfant et de fournir aux intéressés les renseignements les plus précis sur les avantages et les inconvénients des diverses professions ainsi que sur les demandes de travail des diverses catégories.

À l'heure actuelle, il est question de déposer un projet de loi relatif à la création de chambres de métiers.

Nous ne voulons pas en discuter l'opportunité, mais nous croyons intéressant d'appeler l'attention sur le fonctionne-

ment des quelques chambres déjà existantes, celles d'Alsace et de Lorraine, de la Gironde, de l'Anjou et de la Haute-Vienne.

La Chambre de Métiers d'Alsace et de Lorraine, fondée en 1900, et présidée à l'heure actuelle par M. Schleiffer, a notamment pour buts : la réglementation de l'apprentissage ; la surveillance et l'application des prescriptions y relatives ; la transmission aux autorités des vœux et renseignements relatifs aux métiers ; la formation des commissions chargées des examens de compagnons et de maîtres. La Chambre peut, en outre, fonder ou subventionner des écoles, organiser des expositions, créer des services de renseignements, participer à la création de banques populaires, de caisses de prêts, de coopératives de production, etc.

Vis-à-vis des apprentis, elle donne l'autorisation de recevoir en pension et de diriger les futurs ouvriers ; elle participe à la conclusion des contrats, veille à leur observation par les parties et fixe la durée de l'apprentissage. Vis-à-vis des compagnons et des maîtres, elle établit les règlements concernant les examens et réprime les abus qui peuvent se produire grâce au brevet de maître et à l'usage qui peut en être fait.

La Chambre de Métiers de la Gironde et du Sud-Est, sous la présidence de M. Paul Garde et grâce aux efforts de son dévoué directeur M. Mauvezin, a pris en peu de temps une importance considérable et rendu déjà des services appréciables dans la région. Contrairement à ce qui se passe en Alsace et en Lorraine, elle s'adresse non seulement aux artisans, mais aussi aux ouvriers de la grande industrie et recrute des membres parmi les patrons et les ouvriers.

Sous ses auspices, de nombreuses conférences ont été données, des cours et des concours ont été organisés ; d'intéressants tracts ont été publiés et répandus, non seulement dans la région, mais dans la France entière, tel celui d'avril 1921 intitulé : « Conseils aux enfants ». Cet opuscule devrait être entre les mains de tous les jeunes Français.

Il nous faut signaler l'excellent ouvrage de M. Mauvezin. « La Rose des Métiers », qui donne les renseignements les plus complets sur les aptitudes physiques, intellectuelles et morales adéquates aux divers métiers et ceux relatifs aux défauts pouvant entraver ou gêner leur bon exercice. Cet ouvrage sera particulièrement précieux aux parents, aux éducateurs, aux patrons et à tous ceux qui s'intéressent à l'avenir des enfants, c'est-à-dire à l'avenir de la France.

Nous ne saurions trop recommander la lecture de l'excellent petit recueil que constitue le « Bulletin de la Chambre de Métiers de la Gironde et du Sud-Ouest » (91, rue Paulin, Bordeaux).

Assemblées générales

Énergie électrique du Sud-Ouest.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE
DU SAMEDI 31 DÉCEMBRE 1921.

Dans sa réunion du 2 septembre 1921, l'assemblée générale extraordinaire a décidé que le capital de la Société pourrait être augmenté, en une ou plusieurs fois, en totalité ou en partie, de 30 000 000 fr, au moyen de l'émission de 60 000 actions nouvelles, dites de priorité, de 500 fr chacune.

En vertu des autorisations qui lui avaient été données, le Conseil a décidé, dans sa séance du 7 octobre 1921, de procéder à la réalisation d'une première fraction de 20 000 000 fr sur l'augmentation de capital de 30 000 000 fr autorisée, et ce par l'émission de 40 000 actions nouvelles de priorité de 500 fr chacune, aux conditions fixées par ladite assemblée générale extraordinaire du 2 septembre 1921.

Ces actions nouvelles de priorité ont été émises au pair de 500 fr, payables entièrement lors de la souscription.

Conformément à l'article 8 des statuts, un droit de préférence à titre irréductible à la souscription des actions nouvelles de priorité a été réservé aux actionnaires anciens, à raison de deux actions nouvelles pour trois actions anciennes, et les actions nouvelles non absorbées en vertu du droit de préférence irréductible ont été mises à la disposition des actionnaires et des tiers, mais avec droit de préférence de souscription pour les actionnaires.

Dans les délais impartis, les 40 000 actions nouvelles de priorité ont été toutes souscrites et la somme de 20 000 000 fr, représentant le montant intégral de 500 fr par action, a été versée en espèces dans les caisses des établissements de crédit chargés d'effectuer les opérations relatives à l'augmentation de capital.

Les actionnaires ont vérifié les opérations de souscription et de versement et ont voté les résolutions suivantes :

Première résolution. — L'assemblée générale, après vérification, reconnaît sincère et véritable la déclaration faite au nom du Conseil d'Administration de la Société Énergie électrique du Sud-Ouest, suivant acte reçu par M^e Cherrier, notaire à Paris, le 17 décembre 1921, relativement à la souscription des 40 000 actions nouvelles, dites de priorité, au capital nominal de 500 fr chacune, représentant l'augmentation de capital de 20 000 000 fr décidée par délibération du Conseil d'Administration en date du 7 octobre 1921, en vertu des autorisations qui lui ont été données par l'assemblée générale extraordinaire du 2 septembre 1921; et au versement total, soit 500 fr par titre, effectué en espèces sur chacune de ces actions.

Et elle constate, en conséquence, que cette augmentation de capital est définitivement réalisée et que le capital social est porté à 50 000 000 fr.

Deuxième résolution. — L'assemblée générale constate et décide que par suite de la réalisation de l'augmentation de capital faisant l'objet de la première résolution ci-dessus, et comme conséquence de la deuxième résolution votée par l'assemblée générale extraordinaire du 2 septembre 1921, l'article 7 des statuts se trouve modifié de plein droit et sera désormais rédigé ainsi qu'il suit :

Le capital social est fixé à 50 000 000 fr, divisé en 60 000 actions ordinaires de 500 fr chacune, et 40 000 actions de priorité de 500 fr chacune, savoir :

1^o 60 000 actions ordinaires dont :

14 000 actions créées lors de la constitution de cette Société, sur lesquelles 3 100 entièrement libérées ont été remises à la Compagnie générale de Distribution d'Énergie électrique, en représentation de ses apports et les 10 900 de surplus émises contre espèces;

14 000 actions émises contre espèces en exécution de la délibération de l'assemblée générale extraordinaire du 16 novembre 1908, rendue définitive par celle du 17 décembre 1908;

16 000 actions émises contre espèces en exécution de la délibération de l'assemblée générale extraordinaire du 20 septembre 1910, rendue définitive par celle du 17 octobre 1910;

4 000 actions émises contre espèces en exécution de la délibération de l'assemblée générale extraordinaire du 26 novembre 1913, rendue définitive par celle du 23 décembre 1913;

12 000 actions émises contre espèces par décision du Conseil d'Administration en date du 25 juin 1917 prise en conformité de la délibération de l'assemblée générale extraordinaire du 31 mai 1917, rendue définitive par celle du 7 septembre 1917;

2^o 40 000 actions de priorité émises contre espèces par décision du Conseil d'Administration en date du 7 octobre 1921, prise en conformité de la délibération de l'assemblée générale extraordinaire du 2 septembre 1921, rendue définitive par celle du 31 décembre 1921.

Les droits et avantages, etc... (comme indiqué à la troisième résolution de l'assemblée générale extraordinaire du 2 septembre 1921).

Troisième résolution. — L'assemblée générale constate que par suite de la réalisation de l'augmentation de capital faisant l'objet de la première résolution ci-dessus, les modifications apportées sous la condition suspensive de cette réalisation par l'assemblée générale extraordinaire du 2 septembre 1921, aux articles 4, 7, 8, 9, 12, 18, 20, 21, 22, 24, 30, 32, 35, 36, 37, 38, 43, 46, 47, 48 et 50 des statuts sont devenues définitives et qu'en conséquence lesdits articles seront désormais modifiés et rédigés dans les termes adoptés par la troisième résolution de l'assemblée générale extraordinaire du 2 septembre 1921.

SECTION DE LÉGISLATION

Les modifications apportées depuis la guerre à la législation sur la propriété industrielle

Pour répondre aux nécessités du temps de guerre et de l'après-guerre, le gouvernement s'est vu dans l'obligation de publier un grand nombre de décrets et de lois réglementant la propriété industrielle. L'auteur en fait l'énumération; puis il commente l'arrêté du 21 mai 1920 qui limite la description des brevets, la loi du 26 juin 1920 relative à la taxation des marques et des brevets et, enfin, l'arrangement international du 30 juin 1920, réglant la prorogation des brevets.

I. — Si, pendant la guerre, nombreuses ont été les réglementations spéciales faisant échec au régime antérieur de la propriété industrielle, les nécessités de l'après-guerre ont déterminé la mise en vigueur de dispositions nouvelles plus nombreuses encore que les véritables et profondes réformes concernant la législation des brevets, des marques de fabrique individuelles ou collectives, depuis longtemps à l'étude, et qui, sans la guerre, seraient sans doute réalisées, mais ne sont encore qu'en projet.

Les modifications apportées depuis la guerre au régime de la propriété industrielle en France doivent s'entendre non exclusivement de celles intervenues depuis le décret de cessation des hostilités, mais de l'ensemble des lois, décrets ou règlements apparus depuis la cessation effective de l'état de guerre, c'est-à-dire depuis la fin de l'année 1918.

Ces dispositions sont d'une importance très diverse et leur énumération liminaire nous dispensera de revenir sur la plupart d'entre elles pour n'insister finalement que sur celles ayant un intérêt pratique.

C'est ainsi que nous laisserons intentionnellement de côté la loi du 6 mai 1919 sur la protection des appellations d'origine et le régime des vins et spiritueux, ainsi que le décret d'application consécutif; cette législation nécessiterait à elle seule une longue étude. Nous négligerons de même le décret du 22 janvier 1919 portant règlement d'administration publique pour l'application de la loi du 1^{er} août 1905 sur les fraudes. Il nous faudrait consacrer également une trop longue étude à la loi du 18 mars 1919 instituant le registre de commerce, et du décret d'application du 15 juin 1920 et les taxes consécutives prévues par la loi du 26 juin 1920, le décret du 27 juin 1920 et le décret du 25 juin 1921, dont nous aurons à parler à propos du nouveau régime des brevets et des marques.

Nous ne commenterons pas davantage l'article 5 de la loi du 12 mars 1920 sur l'extension de la capacité civile des syndicats qui agréé légalement les marques de collectivités déjà nombreuses en fait ⁽¹⁾ et prépare

le vote de la loi spéciale sur les marques collectives, prête depuis dix ans.

Enfin nous signalerons pour mémoire et pour que soit complète cette énumération des mouvements législatifs et réglementaires depuis la fin des hostilités dans le domaine général de la propriété industrielle, l'arrêté du 15 mars 1919 relatif à la protection des droits des industriels et commerçants lorrains et alsaciens en matière de brevets d'invention, [marques de fabrique, etc...], le décret du 10 février 1920 relatif à l'application des lois françaises concernant la propriété industrielle en Alsace et en Lorraine, le décret du 25 novembre 1919, relatif à l'introduction dans les mêmes régions des lois pénales françaises (contrefaçon, violation de secrets de fabrique, imitations frauduleuses, etc.), le décret du 15 janvier 1920 relatif à l'expropriation des brevets appartenant à des ressortissants allemands, comme aussi le décret du 27 janvier 1920 mettant fin à l'application des décrets des 5-14 août 1914, à la loi du 27 mars 1915, le décret du 13 décembre 1919 abrogeant la loi du 12 avril 1916 relative aux inventions intéressant la défense nationale, la loi du 24 octobre 1919 réorganisant le Ministère du Commerce et investissant de la personnalité civile l'Office national de la Propriété industrielle, comme enfin le décret du 6 février 1920 relatif à la création d'un comité technique de la propriété industrielle.

Par contre, nous commenterons, comme ils nous semblent le mériter, l'arrêté du 21 mai 1920 modifiant l'arrêté du 11 août 1903 relatif à la longueur des descriptions pour les demandes de brevets d'invention, l'arrêté du ministre du Commerce du 24 novembre 1919 créant une commission de prorogation des brevets d'invention pour l'application de la loi du 8 octobre 1919, la loi du 26 juin 1920 instituant un nouveau régime des taxes sur les brevets, marques, etc..., le décret du 11 septembre 1920 comportant application de ladite loi, l'arrangement international du 30 juin 1920 pour la conservation ou la restauration des droits de propriété industrielle, suspendus ou atteints par l'état de guerre et les décrets des 10 et 11 janvier 1921 appliquant aux Français les dispositions de l'arrangement et modifiant les délais prévus par le décret du

(1) FERNAND-JACQ; La défense des produits nationaux par les marques collectives. *Revue générale de l'Électricité*, 16 juillet 1921, t. X, p. 111-114.

27 janvier 1920 en conformité des prescriptions de l'arrangement (1).

II. — L'arrêté du 21 mai 1920 fixe la longueur normale des descriptions dans les demandes de brevets d'invention à 250 lignes de 50 lettres chacune, mais admet un maximum possible de 1 500 lignes avec taxes spéciales allant de 15 à 125 fr. Il détermine le nombre et le format des feuilles pour les dessins annexés, avec taxes spéciales de 25 à 30 fr au delà de 6 feuilles de petit format ou 4 de grand format avec maximum de 30 feuilles de petit format et 15 de grand format.

L'arrêté ministériel du 24 novembre 1919 organise la Commission de Prorogation des Brevets d'Invention par application de la loi du 8 octobre 1919.

On sait que cette loi, à la condition que la demande en soit faite dans les deux ans de sa promulgation, permet au détenteur d'un brevet qui justifie d'une impossibilité ou d'une simple réduction d'exploitation du fait de la guerre, d'obtenir une prorogation de son privilège, qui peut aller jusqu'à huit ans ; ce délai extrême de cinq à huit ans ne peut toutefois être accordé qu'à ceux dont l'exploitation a été détruite ou désorganisée, ou qui ont été mobilisés pendant plus de deux ans.

D'autre part, la loi prévoit l'octroi de délais relativement à l'acquittement des annuités en retard, ainsi que des réductions pouvant aller jusqu'à l'exonération (2).

En général la Commission de Prorogation s'est montrée très généreuse et sauf d'assez rares refus, elle a

accordé des prorogations allant de deux à cinq ans à la plus grande partie des solliciteurs.

La loi du 26 juin 1920 et les décrets d'application du 11 septembre suivant ont sensiblement transformé depuis la guerre le régime des taxes pour les demandes, cessions, concessions de licences de brevets et de marques de fabrique. Ils constituent sous leur apparence bénigne une transformation d'intérêt pratique considérable pour les industriels et les commerçants.

La loi, en effet, a pour but principal la création de ressources nouvelles pour le service de la propriété industrielle et ces taxes portent sur les brevets d'invention, les marques de fabrique, et le registre du commerce.

Les décrets du 11 septembre 1920 ont déterminé les conditions d'application de la loi. L'un a trait aux brevets d'invention, l'autre aux marques de fabrique.

Par ses articles 3 et 4, la loi nouvelle apporte quelques modifications à la loi de 1844 sur les brevets.

L'article 3 institue une taxe de délivrance pour les brevets et certificats d'addition ; le paiement de cette taxe, qui est de 10 fr, doit être effectué pour obtenir la remise du titre officiel d'un brevet ou d'un certificat d'addition.

Le décret du 11 septembre accorde un délai de deux mois pour effectuer ce versement à partir de la réception par l'inventeur (ou son mandataire) de l'avis de délivrance. Ce n'est pas la délivrance même qui donne lieu au paiement de la taxe de 10 fr ; le versement n'est exigé que lors de la remise du titre officiel à l'inventeur. Par suite, la validité du brevet ne serait en rien

(1) La plupart des documents législatifs cités plus haut ont été publiés ou signalés dans cette revue ; nous rappellerons notamment, en suivant l'ordre employé par l'auteur, les documents suivants :

Loi du 26 juin 1920, instituant des taxes spéciales pour le service de la propriété industrielle et l'immatriculation au registre de commerce. *R. G. E.*, 24 juillet 1920, t. viii, p. 128.

Décret du 27 juin 1920 relatif à l'application de la loi du 26 juin 1920. *R. G. E.*, 14 août 1920, t. viii, p. 223.

Loi du 12 mars 1920 sur l'extension de la capacité civile des syndicats professionnels. *R. G. E.*, 27 mars 1920, t. vii, p. 447.

Décret du 10 février 1920 relatif à l'introduction dans les départements de la Moselle, du Bas-Rhin et du Haut-Rhin des lois françaises concernant la propriété artistique, littéraire, industrielle. *R. G. E.*, 20 mars 1920, t. viii, p. 415.

Décret du 15 janvier 1920 relatif à l'application des dispositions des articles 306 et 309 (partie X, section VII, propriété industrielle) du traité de paix du 28 juin 1919, avec l'Allemagne. *R. G. E.*, 7 février 1920, t. vii, p. 208.

Décret du 27 janvier 1920 mettant fin à l'application du décret du 14 août 1914 suspendant les délais, et de la loi du 27 mars 1915, établissant des règles temporaires en matière de propriété industrielle, conformément aux dispositions des articles 307 et 308 du traité de Versailles du 28 juin 1919. *R. G. E.*, 14 février 1920, t. vii, p. 247.

Décret du 13 décembre 1919 concernant les inventions intéressant la défense nationale. *R. G. E.*, 27 décembre 1919, t. vi, p. 186 B.

Loi du 24 octobre 1919 investissant de la personnalité civile l'Office national de la Propriété industrielle. *R. G. E.*, 15 novembre 1919, t. vi, p. 704.

Décret du 6 février 1920 instituant un Comité technique de la propriété industrielle. *R. G. E.*, 28 février 1920, t. vii, p. 312.

Arrêté du 21 mai 1920 modifiant l'arrêté du 11 août 1903,

relatif aux conditions de forme, dimensions et rédaction des descriptions et dessins annexés aux demandes des brevets d'invention. *R. G. E.*, 28 août 1920, t. viii, p. 296.

Décret du 11 septembre 1920 relatif à l'application des articles premier et 2 de la loi du 26 juin 1920 instituant des taxes spéciales pour le Service de la Propriété industrielle (marques). *R. G. E.*, 23 octobre 1920, t. viii, p. 590.

Décret du 11 janvier 1921 modifiant les délais prévus par le décret du 27 janvier 1920 conformément à l'arrangement international du 30 juin 1920 pour la conservation ou le rétablissement des droits de propriété industrielle. *R. G. E.*, 29 janvier 1921, t. ix, p. 168.

A ce même sujet nous rappellerons en outre :

Décret du 8 novembre 1919 relatif à la prolongation des brevets. *R. G. E.*, 22 novembre 1919, t. vi, p. 743.

Loi du 8 octobre 1919 prorogeant la durée des brevets d'invention. *R. G. E.*, 25 octobre 1919, t. vi, p. 574.

Arrêté du 23 juillet 1921 modifiant les arrêtés du 13 mars 1914 et du 7 mai 1915 relatifs à la constatation de la priorité de création des dessins et modèles au moyen des enveloppes doubles. *R. G. E.*, 3 septembre 1921, t. x, p. 312.

On trouvera de plus l'interprétation de quelques-uns de ces documents dans les articles suivants :

Les clauses économiques du traité de Paix. *R. G. E.*, 7 février 1920, t. vii, p. 206-208.

La propriété industrielle, artistique et littéraire, et le traité de Paix de Versailles, par A. TAILLEFER. *R. G. E.*, 3 janvier 1920, t. vii, p. 37-40.

La protection en France et à l'étranger des modèles et des créations de toute nature, par FERNAND-JACQ. *R. G. E.*, 30 juillet 1921, p. 179-181. — N. D. L. R.

(2) Un excellent commentaire de cette loi a été publié au début de 1920 par notre confrère et ami R. MOURÉAUX (Pédone, éditeur, à Paris).

compromise si l'inventeur ne versait pas cette taxe ou s'il la versait postérieurement à l'époque fixée par le décret; il n'y aurait pas d'autre sanction que la non-délivrance du titre officiel.

D'autre part, cette taxe n'est applicable qu'aux brevets ou certificats d'addition délivrés depuis le 15 septembre dernier, quelle que soit la date du dépôt.

L'article 4 organise à l'Office l'inscription sur un registre spécial de toutes indications intéressantes concernant la vie des brevets.

Il prévoit qu'aucune transmission de propriété, aucune cession ou concession de droit d'exploitation ou de gage relativement à un brevet ne sera valable à l'égard des tiers qu'après avoir été inscrite sur le registre spécial des brevets d'invention tenu à l'Office, où sont mentionnés les noms et adresses des titulaires, cessionnaires ou concessionnaires des brevets, ainsi que toutes les indications ou notifications relatives aux actes affectant la propriété des brevets.

Les inscriptions ou radiations, qui seront faites sur ce registre, donneront lieu au versement d'une taxe de 5 fr. Ainsi tous changements intervenus dans la propriété d'un brevet, pour être opposables aux tiers, devront avoir été inscrits sur le registre spécial de l'Office.

La loi nouvelle maintient toutes les formalités prescrites par la loi de 1844 concernant les cessions de propriété, partielles ou totales, à titre gratuit ou à titre onéreux; elle y a ajouté l'inscription à l'Office national de la Propriété industrielle.

D'autre part, d'après la loi nouvelle, la mutation de propriété par suite de décès, au cours des opérations de succession, doit être inscrite au registre de l'Office. Enfin, l'apport d'un brevet à une société, bien que ne constituant pas une cession proprement dite, et par suite non soumis aux dispositions de l'article 20 de la loi de 1844, paraît devoir être l'objet d'une inscription, par application de l'esprit sinon de la lettre même de la loi, sur le nouveau registre. Lorsqu'un brevet est donné en gage, il doit également en être fait mention sur le registre.

L'enregistrement de la licence aux termes de la loi de 1844 est facultatif; l'inscription sur le registre de l'Office est, au contraire, obligatoire pour être valable à l'égard des tiers.

Les lois du 17 mars 1909 et du 1^{er} avril 1909 sur la vente et le nantissement des fonds de commerce ont institué, au cas où le fonds de commerce comprend des brevets, des taxes spéciales pour les inscriptions et radiations du privilège dans un registre spécial tenu à l'Office national de la Propriété industrielle. Le décret du 11 septembre (art. 7) prévoit qu'indépendamment des taxes existantes, il y aura lieu de verser pour chaque inscription ou radiation la taxe prévue par la nouvelle loi, soit 5 fr par brevet. Aucun délai n'est prescrit pour faire ces inscriptions, qu'il est toutefois préférable d'effectuer dès la signature des actes afin de donner ainsi date certaine à l'origine de leurs droits.

Les intéressés et les tiers peuvent avoir copie des mentions figurant sur le registre des brevets moyennant une taxe de 5 fr.

Le nouveau registre, destiné à constituer un véritable registre d'état civil des inventions, contient le numéro de délivrance du brevet, les noms, prénoms, domicile et profession du titulaire et de son mandataire, la date de la délivrance et de la remise de son titre officiel, les certificats d'addition, leurs dates et leurs numéros, la

date du paiement des annuités, les mutations, cessions et concessions de droit d'exploitation ou de gage et, en général, toutes indications et notifications relatives à la propriété du brevet.

La loi nouvelle apporte également d'appréciables modifications à la loi de 1857 sur les marques. En ce qui concerne le lieu de dépôt des marques, rien n'est changé: le dépôt doit être fait au Greffe du Tribunal de Commerce du domicile du déposant, ou, à défaut, au Greffe du Tribunal civil, mais tous les dépôts faits en France sont centralisés à l'Office national de la Propriété industrielle, et les frais de dépôt sont considérablement augmentés. Ils se décomposent par marque déposée en trois taxes cumulatives: 1^o une taxe fixe de 25 fr au profit de l'Etat; 2^o une taxe d'enregistrement de 10 fr par classe de produits auxquels la marque est destinée, sans que la somme perçue puisse dépasser 100 fr; cette taxe est perçue au profit de l'Office national; 3^o une somme de 2 fr par dépôt, quel que soit le nombre de marques figurant dans chaque dépôt, est due au greffier en plus des émoluments qu'il recevait en vertu de la loi de 1857.

Les frais sont les mêmes quand il s'agit d'un renouvellement de marque. Il y a, en outre, les frais de timbre et d'enregistrement.

D'autre part, en sus des trois exemplaires de la marque qui étaient déjà exigés pour le dépôt, le déposant doit remettre autant d'exemplaires supplémentaires de sa marque qu'il y a de classes dans lesquelles celle-ci doit figurer en raison des produits auxquels elle est destinée; il est tenu de fournir une notice indiquant ces classes.

Ces exemplaires seront placés dans les volumes des quatre-vingts classes de la nouvelle classification adoptée et mise à la disposition du public pour les recherches. Cette classification, amélioration de l'ancienne, qui ne comprenait que soixante-quatorze classes, est organisée sur le modèle de la classification internationale de Berne.

Quant aux inscriptions sur le registre des mutations, la loi nouvelle les règle ainsi pour les marques: « Aucune transmission de propriété, aucune cession ou concession de droit d'exploitation ou de gage, relativement à une marque déposée, ne sera valable à l'égard des tiers qu'après avoir été inscrite sur le registre spécial des marques de fabrique ou de commerce tenu à l'Office national de la Propriété industrielle et où sont mentionnés les noms et adresses des déposants, cessionnaires ou concessionnaires, ainsi que toutes les indications et notifications relatives aux actes affectant la propriété des marques. »

Ces inscriptions sur le registre donnent lieu à la perception de nouvelles taxes: 1^o une taxe fixe de 10 fr; 2^o une taxe de 3 fr par classe de produits auxquels la marque est applicable, au profit de l'Office.

Si la mutation est opérée par succession, la taxe d'Etat est fixée à 10 fr par marque, quel que soit le nombre des marques comprises dans la déclaration.

Aux termes des articles 7 et 11 de la loi nouvelle, l'inscription ou la radiation au registre des marques du privilège résultant de la vente ou du nantissement d'un fonds de commerce comprenant des marques donne lieu au versement de taxes spéciales; la nouvelle loi prescrit encore l'inscription de la vente ou de la mise en nantissement sur le registre spécial des marques; dans ce cas, la taxe nouvelle à verser est de 3 fr par marque.

Le registre spécial des marques est analogue au registre des brevets. Il doit renfermer toutes les indications générales concernant la marque; un des exemplaires déposés doit y être collé en regard de cette reproduction de la marque toutes modifications apportées aux mentions primitives et toutes mutations, cessions ou concessions de droit d'exploitation ou de gage concernant ladite marque sont destinées à y figurer; au cas où le propriétaire d'une marque renoncerait à son emploi, mention de cette renonciation pourra être inscrite sur le registre moyennant le paiement d'une taxe de 3 fr, cette renonciation devant être faite préalablement auprès du greffier du tribunal qui a reçu le dépôt.

Les changements de domicile des titulaires, cessionnaires ou concessionnaires de marques, peuvent être mentionnés sur le registre, les frais d'inscription sont de 3 fr par marque.

Quiconque peut obtenir copie des mentions portées sur le registre moyennant le versement d'une taxe de 5 fr; si ce renseignement est demandé pour plusieurs marques appartenant à la même personne, la taxe est de 5 fr pour la première et de 1 fr pour chaque marque suivante.

Comme pour les brevets aucun délai n'est imposé pour les inscriptions sur le registre des marques.

Toutes ces obligations nouvelles, qui n'ont rien d'excessif en matière de brevets, pourront sembler onéreuses, par contre, pour les détenteurs de marques et surtout pour les maisons possédant une nombreuse série de marques, devant faire l'objet de fréquentes mutations. L'expérience sur ce terrain amènera peut-être le législateur à l'occasion de la discussion, que l'on espère prochaine, du projet général de réforme de la loi sur les marques à accepter certains amendements.

III. — Il nous reste à examiner les dispositions et la portée de l'arrangement international du 30 juin 1920 et des décrets des 10 et 11 janvier 1921.

On sait que les divers traités de paix ont spécifié que les droits de propriété industrielle atteints par la guerre seraient rétablis suivant certaines modalités. L'arrangement du 30 juin 1920 a pour but d'étendre le principe des mêmes dispositions dans les rapports entre certains alliés, neutres ou mêmes ennemis. A notre connaissance et, sauf acquiescements ou dénominations nouveaux, il profite à douze États : Allemagne, Autriche, Brésil, Espagne, France, Grande-Bretagne (sous réserve), Maroc français, Pologne, Suède (sous deux réserves) Suisse, Tchéco-Slovaquie, Tunisie.

Aux termes de l'arrangement, étaient prorogés de six mois à partir de la mise en vigueur du traité les délais de priorité prévus par l'article 4 de la Convention internationale d'Union de Paris, pour le dépôt ou l'enregistrement des demandes de brevets, marques, dessins ou modèles, qui n'étaient pas encore déposés le 1^{er} août 1914 et ceux qui auraient pris naissance pendant la guerre, ou auraient dû prendre naissance si la guerre n'avait pas eu lieu.

Un délai d'un an, de la mise en vigueur de l'arrangement, sans surtaxe ni pénalité quelconque, était accordé aux titulaires de droits reconnus par la Convention pour accomplir tout acte, remplir toute formalité, payer toute taxe ou pour conserver ou obtenir les droits de propriété industrielle acquis au 1^{er} août 1914

ou qui auraient pu être acquis depuis cette date si la guerre n'avait pas eu lieu.

D'autre part, sous réserve du droit de tiers possesseurs de bonne foi, les droits frappés de déchéance pour les mêmes causes, devaient être remis en vigueur.

La période comprise entre le 1^{er} août 1914 et la mise en vigueur de l'arrangement était neutralisée pour tout motif de déchéance.

Enfin, il était spécifié que l'arrangement ne pouvait préjudicier aux conditions plus favorables des traités de paix ou des accords particuliers entre États.

Le décret du 10 janvier 1921 a modifié les délais prévus par l'arrangement susvisé, en prolongeant au 30 septembre 1921, savoir : 1^o le délai dans lequel les taxes de deuxième annuité et des annuités suivantes des brevets d'invention, échues postérieurement au 31 juillet 1914 et avant le 1^{er} juillet 1921, peuvent être acquittées valablement et sans surtaxe, soit en un seul versement, soit par des versements successifs, dont chacun ne devra pas être inférieur à 100 fr au minimum; 2^o les délais impartis aux titulaires de certificats de garantie délivrés à l'occasion d'exposition organisées en France avec l'autorisation de l'administration ou avec son patronage, pour réclamer la protection dont les découvertes, dessins, modèles ou marques sont légalement susceptibles; 3^o les délais durant lesquels les déposants de dessins et modèles ou de marques de fabrique ou de commerce peuvent valablement requérir la prorogation avec ou sans publicité, ou effectuer le renouvellement de leurs dépôts, lorsque ces délais sont venus à expiration depuis le 1^{er} août 1914.

Aux termes de l'article 2, les délais légaux prévus soit pour la mise en exploitation en France de l'invention brevetée, soit pour la cessation de cette exploitation, en tant qu'ils n'étaient pas exprimés au 1^{er} août 1914, sont prolongés pour une période de deux années à partir du 1^{er} octobre 1920. Les mêmes délais, en ce qui concerne les brevets d'invention dont la demande a été formée postérieurement au 31 juillet 1914, commenceront seulement à courir à dater du 1^{er} octobre 1920.

L'article 3 spécifie que les délais de priorité prévus par l'article 4 de la Convention d'Union internationale de Paris du 20 mars 1883, révisée à Washington en 1911, qui n'étaient pas venus à expiration au 1^{er} août 1914 et ceux qui ont commencé à courir depuis cette date, sont prolongés jusqu'au 31 mars 1921 inclusivement. Enfin, l'article 4 rappelle que les dispositions du présent décret ne sont applicables aux sujets et ressortissants des pays étrangers qu'autant et dans la mesure que ces pays auront concédé et concéderont par réciprocité aux Français et protégés français des avantages équivalents.

Le décret du 11 janvier 1921 ne fait qu'appliquer expressément aux Français les dispositions qui précèdent.

Telles sont, en attendant la discussion, prochaine assure-t-on, et le vote encore incertain des projets de réforme des lois sur les brevets et les marques, les modifications essentielles intervenues depuis la guerre dans la matière si importante de la propriété industrielle.

FERNAND-JACQ,
Docteur en droit,
Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 6.

11 FÉVRIER 1922.

Chronique. — Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique. — Bibliographies : Cours d'Électricité et de Magnétisme, t. I; Principes d'Électrotechnie, t. II, par Emile PIÉREARD; La fonte, élaboration et travail, par le colonel Jean ROUELLE; Une politique financière, par A. FASTOUT, p. 177-178.

Section scientifique et technique. — Contraction de Lorentz et relativité, par F. GUERY, p. 179. — Dispositif à impédance négative, par Marius LATOUR, p. 190. — Revues, analyses et informations : Sur les actions mutuelles de courants et d'aimants plongés dans un milieu magnétique illimité, p. 191.

Section industrielle. — Les transformateurs de mesure : leur emploi, leur construction, par V. CANDIE, p. 193. — L'interconnexion des petites usines électriques en vue de la meilleure utilisation des chutes d'eau, par Alfred SOULIER, p. 202. — Note sur la marche en parallèle de plusieurs usines de puissance différente, par J. MATHIVET, p. 203. — Revues, analyses et informations : La propulsion électrique des navires, p. 205; La première station génératrice à 220 000 V, p. 207.

Section économique et financière. — Importations et exportations françaises du matériel électrique, produits électrométallurgiques et électrochimiques, par Désiré PECTOR, p. 209. — Assemblées générales : Groupement des Compagnies d'énergie électrique et d'éclairage du Nord et de l'Est, p. 212; Tréfileries et Laminoirs du Havre, p. 212.

Section de législation. — Le droit de suite des inventeurs, par FERNAND-JACQ, p. 213. — Législation, jurisprudence, réglementation : Projet de loi concernant le régime téléphonique, p. 216; Sur l'application de l'impôt sur les camions automobiles, p. 216; Le droit de timbre sur les accusés de réception des chèques, p. 216.

Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique ? — Cette question, qui semblait tout d'abord, pour beaucoup de personnes, devoir appeler immédiatement une réponse positive, continue à être l'objet de vives et intéressantes discussions devant la Société Française de Physique.

A la séance du 20 janvier 1922 ⁽¹⁾ la discussion a été reprise par une note de M. Brylinski répondant à de précédentes observations de M. Abraham ⁽²⁾ sur la relation entre la vitesse de la lumière et la racine carrée du produit de la constante diélectrique K par la perméabilité magnétique μ . Puis M. Langevin a fait une longue communication dans laquelle, complétant sa communication du 3 décembre 1921 ⁽³⁾, il établit que, en passant d'un système de coordonnées rectangulaires à un système de coordonnées obliques les composantes du champ magnétique se transforment autrement que celles de l'induction, ce qui, dit-il, est une nouvelle preuve que ces deux grandeurs ne sont pas identiques.

A la séance du 3 février 1922, M. Abraham, a, par une argumentation très serrée, combattu cette dernière conclusion. Mais, de son côté, M. P. Langevin a main-

tenu son point de vue en apportant diverses raisons nouvelles en faveur de ce maintien.

Une discussion des plus intéressantes s'est alors engagée, discussion à laquelle, outre MM. Abraham et Langevin, ont pris part, MM. Brylinski, Hadamard, Janet, Picard et Pomey et qui n'a été interrompue que lorsque la pendule, marquant 23 h 30, a rappelé aux auditeurs qu'il était sage d'en renvoyer la suite à la prochaine séance.

Parmi les questions qui ont été soulevées au cours de cette discussion il en est une qui est de la plus haute importance : Les arguments invoqués en faveur de la non-identité et de l'identité des deux grandeurs magnétiques, champ et induction, reposant sur des bases sérieuses, le désaccord ne serait-il pas dû à ce que partisans et adversaires de l'identité ne partent pas de la même définition de l'induction magnétique ? Cela paraît probable si l'on songe au nombre considérable de grandeurs qui interviennent dans l'étude du magnétisme et de l'électricité, et au nombre non moins considérable des relations qui les lient. Et cette probabilité apparaît plus grande encore si l'on tient compte de ce que les équations du champ électromagnétique de Maxwell, sont prises pour bases de la discussion et que, comme l'ont fait remarquer divers savants, en particulier Poincaré, l'œuvre de Maxwell, si grandiose qu'elle soit par ses conséquences, est des plus obscures dans sa présentation.

Ainsi donc la question primitivement posée concer-

⁽¹⁾ Pour les communications et discussions antérieures, voir *Revue générale de l'Électricité*, 2 juillet et 24 septembre 1921, t. X, 13-15 et 398-399, et 28 janvier 1922, t. XI, p. 116-118.

⁽²⁾ *R. G. E.*, 28 janvier 1922, t. XI, p. 118.

⁽³⁾ *R. G. E.*, 28 janvier 1922, t. XI, p. 117.

nant la nécessité de donner ou de ne pas donner des noms différents à l'unité de champ et à l'unité d'induction magnétique conduit, par la discussion approfondie qui en est faite par la Société française de Physique, à examiner de plus près les fondements de l'électricité et du magnétisme. Cet examen ne peut manquer de préciser nos idées sur des points que nous sommes accoutumés à considérer comme universellement admis. Il est dès lors du plus haut intérêt non seulement pour les savants, mais encore pour les techniciens. Aussi ne manquerons-nous pas de tenir nos lecteurs au courant des conclusions qui sortiront de cet examen en mettant sous leurs yeux les communications relatives à ce sujet qui ont été faites et qui seront faites à la Société française de Physique.

Bibliographie : Cours d'Electricité et de Magnétisme t. I ; Principes d'Electrotechnie, t. II ⁽¹⁾, par Emile PIÉREARD, professeur à l'Université de Bruxelles, ingénieur en chef, directeur d'Administration des Télégraphes belges. — En publiant ce cours, l'auteur s'est proposé d'offrir à tous ceux qui abordent l'étude de l'électricité et du magnétisme pour se consacrer ensuite à l'électrotechnique un ensemble de connaissances classiques suffisant pour leur permettre, plus tard, de suivre avec fruit un enseignement d'un niveau plus élevé. Ces deux livres semblent donc s'adresser tout particulièrement aux jeunes gens astreints à parfaire leur instruction par leurs propres moyens, aux élèves qui préparent le concours de l'Ecole supérieure d'Electricité et aux étudiants de première année des instituts électrotechniques. La rédaction soignée, l'enchaînement logique des matières, les démonstrations des théorèmes et surtout l'exposé si clair du principe des machines électriques sont tels qu'on pouvait les attendre d'un auteur qui est, depuis de nombreuses années, chargé d'enseigner l'électricité à l'Université de Bruxelles.

Dans le tome I, les pages 1 à 156 sont consacrées à l'électrostatique, aux lois du courant (Faraday, Ohm, Kirchhoff) et au magnétisme. L'électromagnétisme et l'induction électromagnétique occupent trois chapitres, VII, VIII et IX, avec quelques aperçus sur les phénomènes de Hall, de Kerr et de Zeemann. Après avoir décrit les appareils de mesure et défini les unités, l'auteur entreprend l'étude des courants alternatifs et s'étend assez longuement sur les effets de résonance dus à la capacité et à la self-induction, sur le facteur de puissance, sur les pertes par hystérésis et courants de Foucault, sur l'effet Kelvin, puis sur la décharge oscillante, sur l'arc chantant et termine ce sujet par l'exposé de la théorie des vecteurs et des imaginaires au point de vue de leur application aux courants alternatifs. La mesure des grandeurs électriques est traitée dans les derniers chapitres.

Il nous a paru que la préface du tome II était empreinte d'une réserve qui ne répondait pas à l'ampleur avec laquelle la partie technique a été développée et, contrairement à l'aveu de l'auteur, nous estimons que son modeste livre peut soutenir la comparaison « avec les nombreux traités d'électricité qui ont été déjà publiés ». Certains sujets, en effet, sont assez détaillés pour répondre à tous les besoins ; tels sont la dynamo et le moteur à courant continu, les

transformateurs, les alternateurs où l'on trouvera un exposé très intéressant de la réaction d'induit d'après les méthodes de Potier et Blondel et du couplage des alternateurs ; puis vient l'étude mécanique et électrique des lignes de transmission d'énergie. Ce dernier chapitre contient toutes les données nécessaires à la détermination des éléments de fonctionnement d'une ligne de transmission. Suivant la méthode classique, l'auteur suppose que les paramètres de la ligne sont constants et l'on sait que le problème traité de cette façon conduit à une généralisation suffisante dans tous les cas de la pratique. Dans la partie relative aux alternomoteurs, qui est la plus compliquée pour des débutants, l'auteur n'a progressé que lentement, nous voulons dire qu'il s'est étendu longuement sur les propriétés des courants polyphasés, sur la formation des champs tournants, sur les principes du moteur asynchrone, du moteur synchrone, du moteur à collecteur, etc., avec le souci évident de ne laisser aucun doute sur le mode de fonctionnement de ces machines : il donne un assez grand nombre de formules, mais ne décrit aucun diagramme. Un chapitre entier est consacré aux convertisseurs de tous les types, avec quelque calcul pour établir les relations existant entre le courant primaire et le courant redressé.

Un troisième tome sera publié prochainement et sera consacré à l'ensemble des principales applications électrotechniques industrielles — B. C.

Bibliographie : La fonte, élaboration et travail ⁽¹⁾, par le colonel Jean ROCELLE. — L'auteur rappelle d'abord les principes des réactions chimiques qui se produisent pendant le traitement du minerai, puis, dans la première partie de son ouvrage intitulé « élaboration de la fonte », il décrit le fonctionnement des hauts fourneaux et la marche des opérations. Un chapitre spécial traite des fontes grises, des fontes blanches et des fontes traitées, ainsi que de l'influence du silicium et du manganèse. Un autre chapitre donne un aperçu sur les ferro-silicium, les ferro-chrome et les ferro-tungstène.

La seconde partie de l'ouvrage a trait au travail de la fonte. L'auteur y décrit les divers procédés de moulage, moulage en sable, moulage en terre et moulage en coquille, et, après avoir énuméré les usages de la fonte moulée, il donne quelques détails sur les essais mécaniques de la fonte tels que essais au choc, à la flexion et à la traction.

Bibliographie : Une politique financière ⁽²⁾, par A. FASTOUT. — Dans cet ouvrage, l'auteur démontre avec force que l'empirisme pratiqué depuis la guerre en matière fiscale mène la France à l'abîme. Il n'y a plus de temps à perdre pour y substituer « Une Politique financière » raisonnée, ayant pour base un budget bien équilibré, dont les recettes soient d'une rentrée facile et certaine et dont les charges soient équitablement réparties.

A cet effet, il propose de supprimer la plupart des impôts qui grèvent la consommation et le capital en travail et de les remplacer par un impôt progressif sur les revenus de la fortune acquise et les successions.

Il indique, en outre, le moyen de supprimer la fraude et d'assurer la justice fiscale.

Ces idées, nettes et hardies, sont exposées dans un style clair et appuyées par une vigoureuse argumentation.

(1) Deux volumes, 25 cm × 17 cm, de 403 et 487 pages avec 384 fig. dans le texte. Editeurs Dunod et Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, Paris (VI^e) et Ramlot, 25, rue Grétry, Bruxelles. En vente aux bureaux de la *Revue générale de l'Electricité*. Prix brochés : t. I, 16,50 fr. ; t. II, 10 fr.

(1) Une brochure, 17 cm × 11 cm, 192 pages, 29 figures, éditée par Armand Colin, 103, boulevard Saint-Michel, Paris. Prix : broché, 5 fr. ; relié, 6 fr.

(2) Une brochure, 19 cm × 12 cm, 212 pages, publiée par G. Grès et Co, 21, rue Hautefeuille, Paris. Prix : 4,50 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Contraction de Lorentz et relativité

Dans l'étude suivante, qui touche à d'autres sujets que l'Electricité, mais où celle-ci joue néanmoins un rôle important, l'auteur cherche à montrer que certains résultats de la théorie de la relativité peuvent être déduits de théories antérieures, sans qu'il soit nécessaire d'introduire aucune complication dans les notions d'espace et de temps. Dans la première partie, il montre que la contraction de Lorentz est une loi physique d'une importance primordiale.

Introduction.

La découverte de la loi de la gravitation universelle a joué dans l'histoire moderne des théories physiques un rôle essentiel. Ce privilège résulte du fait que, pendant près de deux siècles, cette loi n'a pu être mise en défaut, malgré la précision croissante des calculs et des observations. C'est Le Verrier qui a voilé cette lumière du premier nuage sérieux, en signalant l'anomalie irréductible du périhélie de Mercure, et il a fallu attendre Einstein pour arriver à une explication théorique satisfaisante de cette anomalie, explication qui fait apparaître le caractère approximatif de la loi de Newton.

Il était naturel que le succès de cette loi entraînaît des généralisations. Aussi la première théorie rigoureuse des attractions et répulsions électrostatiques, œuvre de Coulomb, fut-elle une adaptation de la loi de Newton à de nouvelles entités créées pour la circonstance et appelées charges électrostatiques.

Le même enchaînement d'idées a conduit à l'explication du magnétisme par des masses magnétiques.

A vrai dire, au fur et à mesure que l'on avançait dans cette voie, les entités auxquelles on appliquait la force newtonienne devenaient de plus en plus compliquées et exigeantes.

En effet, on arrive bien à isoler une charge électrique, qui paraît attachée à un support matériel, mais on trouve toujours quelque part, plus ou moins éloignée, plus ou moins diversement répartie, une charge de nom contraire qui lui est égale. Ce n'est plus la belle simplicité de la masse matérielle.

En magnétisme, la complication est encore plus grande, les masses magnétiques sont toujours associées par paires de noms contraires, avec une répartition qui obéit à des lois compliquées; il arrive même des cas, comme celui du solénoïde en forme de tore, où les masses deviennent complètement insaisissables.

Dans cet entraînement de l'esprit à la suite du génie de Newton, on arrive donc à des conceptions de plus en plus artificielles.

Une autre conséquence fâcheuse de cet entraînement

se manifestait parallèlement dans le domaine de l'optique. On oubliait que la loi de force à distance n'est qu'un effet, et qu'un lien est nécessaire entre les corps qui agissent les uns sur les autres; on faisait en un mot abstraction du milieu de transmission des forces, et l'on était ainsi conduit, par exemple, à attribuer la propagation de la lumière à l'émission de quelque chose émanant du corps lumineux et lancé dans l'espace comme un projectile.

Comme pour la loi de la gravitation, ce fut la science française qui, également dans le courant du dix-neuvième siècle, porta la première atteinte sérieuse à cette théorie. L'interprétation donnée par Fresnel de l'expérience d'Arago sur l'interférence de la lumière polarisée imposait en effet la nécessité de la propagation d'ondes transversales, ce qui excluait toute possibilité d'émission. L'influence du milieu étant ainsi mise en évidence pour l'optique, il était naturel qu'on la cherchât dans d'autres branches de la physique. Les idées de Faraday se ressentaient déjà de cette nouvelle orientation. Maxwell devait les mettre sous une forme mathématique, mais le grand physicien anglais n'avait pu réussir à donner une explication mécanique complète des phénomènes électriques et s'était contenté de montrer que cette explication était possible.

Cependant de nouvelles découvertes expérimentales, celle des rayons cathodiques, entre autres, conduisaient les physiciens à confirmer l'existence intrinsèque de la charge électrique; ce fut la gloire de Lorentz de développer une théorie basée sur ce fait et qui venait heureusement compléter celle de Maxwell.

La théorie inachevée de Maxwell laissait une grande obscurité dans l'électromagnétisme. Aussi Poincaré était-il conduit à une étude approfondie, d'abord des diverses théories en présence, puis, par un enchaînement naturel d'idées, à celle des différents principes qui servaient depuis de nombreuses années, ouvertement ou intuitivement, de guides aux physiciens.

Ce fut l'œuvre, d'une haute portée philosophique, des dernières années de sa vie. Le premier, il fit apparaître l'importance capitale du principe de relativité,

que tout le monde appliquait intuitivement et qu'il essaya de formuler d'une façon précise, tout en montrant la difficulté en présence de laquelle la science se trouvait alors d'obtenir un accord complet entre ce principe et ceux de la conservation de l'énergie et de l'égalité de l'action et de la réaction.

A Einstein devait revenir le mérite de construire une théorie entièrement satisfaisante à ce point de vue. Cette théorie est-elle la seule possible ? Les discussions qu'elle suscite devront permettre sans doute d'élucider ce point ⁽¹⁾.

Le revirement d'idées que nous avons signalé plus haut et qui se produisit au cours du dix-neuvième siècle en faveur de la transmission de proche en proche à travers un milieu ne permit pas d'attacher à certaines parties de la théorie d'Ampère sur l'électromagnétisme toute l'attention qu'elle méritait.

Néanmoins, développant une idée d'Ampère sur l'action à distance et en ligne droite entre éléments de courant, Gauss et Weber en avaient déduit deux théories différentes de la production du champ magnétique. Le courant étant dû à un mouvement relatif de charges de signes contraires, le champ magnétique qu'il produit résulterait de ce que le champ électrostatique des charges, dans une direction déterminée par rapport à leur mouvement, serait variable suivant cette direction et, de plus, fonction de la vitesse.

Quand, avec Lorentz, les charges élémentaires revinrent à l'ordre du jour sous le nom d'électrons, l'idée d'action à distance n'ayant plus cours en électromagnétisme, on oublia les vieilles théories d'Ampère, de Gauss et de Weber. Nous montrerons dans la suite de cette étude que, dès cette époque, on aurait pu relier utilement ces théories à celles de Maxwell et Lorentz.

Mais il y a plus ! Lorsqu'on développe, dans cet ordre d'idées, le point de vue d'Ampère, on constate que les effets électromagnétiques entre courants sont de l'ordre du carré du rapport entre la vitesse des charges et celle de la lumière, rapport que nous appellerons « aberration », par extension et pour simplifier le langage. Si ces effets sont sensibles, cela tient à la valeur énorme des charges qui constituent le courant, car, comme nous le verrons, leur vitesse est généralement très faible. Ainsi s'explique le rôle spécial joué par l'électromagnétisme dans les découvertes récentes attribuées à la théorie de la relativité. En effet, le résultat le plus net de ces découvertes, c'est qu'une retouche apparaît nécessaire, non seulement à la loi de Newton, mais à l'ancienne mécanique, lorsqu'on ne peut pas négliger les termes de l'ordre du carré de l'aberration. Il est donc naturel que ce soit l'électromagnétisme qui ait mis sur la voie de ces découvertes. Effectivement, le premier pas a été fait par Lorentz, lorsqu'en développant sa théorie il a été amené à conclure à la contraction de

l'électron, due à son mouvement, par extension de l'hypothèse faite par Fitzgerald et par lui-même pour expliquer le résultat d'une expérience célèbre de Michelson, dont l'influence sur la foi dans le principe de relativité a été décisive.

Une nouvelle voie s'ouvre ainsi devant nous : revenons aux actions à distance des théories d'Ampère, Gauss et Weber. Les positions relatives de deux corps agissant l'un sur l'autre par l'intermédiaire d'un milieu, qui fait intervenir le temps, ne peuvent plus être définies par la distance, fonction de l'espace seul. La loi d'action doit donc se modifier avec la vitesse et la direction du mouvement. Cette modification due au milieu doit obéir à certaines lois communes aux différentes espèces de forces. Nous pouvons nous proposer de chercher ces lois, qui devront expliquer à la fois la contraction de Lorentz, loi de la cohésion, l'électromagnétisme, modification des champs électrostatiques des charges et la modification de la loi de Newton qui justifie le mouvement du périhélie de Mercure.

Tel est le but que nous nous sommes proposé. L'exposé de nos recherches dans cette voie fera l'objet de la deuxième partie de l'étude qui suit. Dans la première partie nous avons discuté certains points de vue de la théorie de la relativité, afin de bien dégager l'importance fondamentale de la contraction de Lorentz.

PREMIÈRE PARTIE

La contraction de Lorentz est-elle réelle ?

I. Les points de vue de Lorentz et d'Einstein.

— On sait que, du résultat d'une expérience célèbre de Michelson, Fitzgerald et Lorentz ont tiré cette conséquence que le mouvement produit une contraction de tous les corps. V désignant la vitesse de la lumière, v celle du mouvement de translation, le facteur de contraction a pour valeur $k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$. Suivant la natio-

nalité des auteurs, cette propriété générale de la matière est désignée tantôt sous le nom de « contraction de Fitzgerald », tantôt sous celui de « contraction de Lorentz ». Dans l'ignorance de la véritable priorité, nous adopterons cette dernière appellation, simplement parce que les déductions tirées par Lorentz de la propriété en question font l'objet principal d'une partie de notre étude.

On sait, d'autre part, que, dans la mécanique classique, les coordonnées d'un point, prises dans un système d'axes en mouvement rectiligne et uniforme, se déduisent des coordonnées du même point, prises dans un système au repos, au moyen de formules de transformation que l'on désigne sous le nom de *groupe de Galilée*.

En admettant que le résultat de l'expérience de Michelson soit vrai pour tout ordre de précision des mesures, et en adoptant, en outre, un temps local mesuré d'une façon particulière au moyen de signaux

(1) Depuis que cet étude a été rédigée, d'intéressantes communications ont été faites sur ce sujet, par MM. Painlevé et Picard à l'Académie des Sciences dans les séances des 24 octobre et 14 novembre 1921 (voir *R. G. E.*, 3 décembre 1921, t. X, p. 811-812).

transmis avec la vitesse de la lumière, on arrive à certaines relations entre les coordonnées de systèmes en mouvement relatif que l'on désigne généralement sous le nom de *groupe de Lorentz*.

Einstein, faisant abstraction de l'expérience de Michelson, pose à priori les équations du groupe de Lorentz comme devant être, dans tous les cas, substituées aux équations du groupe de Galilée. Dans cet ordre d'idées, en raison du caractère spécial de réciprocité des relations de Lorentz, la contraction devient une apparence du mouvement relatif, l'observateur d'un des systèmes voyant les corps de l'autre système contractés suivant le facteur de Lorentz déduit de la vitesse du mouvement relatif de ces deux systèmes. On peut donc se demander dans quelle mesure la contraction est réelle ? Il est évident qu'au point de vue purement mathématique, qui paraît être celui de l'école d'Einstein, et si l'on fait abstraction de l'existence de l'éther, cette question n'a aucun sens. Mais s'il existe un milieu spécial auquel puissent être rapportés les mouvements de tous les corps, la question posée devient parfaitement sensée.

Il est juste de remarquer qu'il n'a pas été possible, jusqu'ici, de déceler un mouvement de translation relatif d'un corps par rapport à l'éther. Cette impuissance, qui s'est manifestée avec éclat à propos de l'expérience de Michelson, est une des bases sur lesquelles s'appuie la théorie de la relativité. Il n'est donc pas inutile de creuser cette question en examinant en détail quelles sont les conditions de l'expérience de Michelson et si elles ont bien une généralité telle que la conclusion radicale qu'en a tiré l'école d'Einstein soit péremptoirement justifiée. C'est ce que nous nous proposons de rechercher tout d'abord, dans ce qui suit. Notre exposé n'exige qu'une connaissance élémentaire des principes de la théorie de la relativité. On en trouve un exposé suffisant à ce point de vue dans différents opuscules ou volumes récents⁽¹⁾.

II Bases de la théorie de la relativité. — La théorie de la relativité d'Einstein comporte deux stades : la *relativité restreinte*, qui s'applique à des mouvements de translation ; la *relativité généralisée* qui s'applique à toute espèce de mouvements. Nous laisserons de côté, pour le moment, ce deuxième stade de la théorie de la relativité et nous résumerons comme suit les fondements de la théorie de la relativité restreinte.

Cette théorie s'appuie sur le principe de relativité, qui peut s'énoncer ainsi⁽²⁾ :

⁽¹⁾ A. EINSTEIN. *La Théorie de la relativité restreinte et généralisée*. Traduction de M^{lle} Rouvière. Gauthier-Villars, 1921.

LUCIEN FABRE. *Les Théories d'Einstein*. Payot, 1921.

ANGEVIN. *Le Principe de relativité*. Communication faite à la Société française des Electriciens, le 3 décembre 1919.

EDOUARD GUILLAUME. *La Théorie de la relativité*. F. Rouge. Lausanne, 1921.

A.-S. EDDINGTON. *Espace, Temps, Gravitation*. Traduction Rossignol. Hermann, 1921.

⁽²⁾ EINSTEIN, *loco citato*. p. 11.

Si K' représente un système de coordonnées animé d'un mouvement de translation uniforme de vitesse v par rapport à un autre système de coordonnées K , les phénomènes naturels suivent les mêmes lois, quel que soit celui des systèmes K ou K' auquel on les rapporte.

La théorie de la relativité restreinte, tirant de ce principe toutes les conséquences qu'il comporte, est ainsi amenée à postuler que la vitesse de la lumière est une constante absolue V , c'est-à-dire qu'elle est la même pour les observateurs des systèmes K et K' et pour toute direction de propagation.

Il résulte nécessairement de ces hypothèses que les mesures d'espace et de temps, pour un même phénomène, ne sont pas les mêmes dans les deux systèmes K et K' .

Les mesures de longueur sont telles qu'une longueur prise sur un axe parallèle au mouvement et entraînée par un des systèmes apparaisse pour l'autre contractée suivant le facteur de Lorentz

$$L = \sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$$

Les mesures de temps correspondent au temps local, dit de Lorentz. Il n'est pas inutile de remarquer que la théorie de la relativité restreinte suppose que les horloges marquent toutes, et en toutes circonstances, ce temps local que Lorentz avait défini seulement d'après une manière toute particulière de mesurer le temps par des phénomènes optiques. Nous verrons dans la suite de cette étude que, s'il est bien possible qu'il en soit ainsi, cela n'a d'ailleurs pas d'importance, aucune occasion ne se présentant pratiquement de faire intervenir la notion de temps local autrement que comme procédé mathématique auxiliaire.

III. Notions fondamentales. L'espace et le temps. — Ayant ainsi rappelé sur quelles bases repose la théorie de la relativité, nous allons maintenant rechercher quelles étaient les idées fondamentales sur lesquelles Lorentz a dû vraisemblablement s'appuyer pour interpréter le résultat de l'expérience de Michelson et arriver, par cette voie, au groupe de relations auquel son nom est resté attaché. L'idée de temps local qu'il abordait avec une prudence et des restrictions dont ont fait fi, depuis, Einstein et son école, était alors par exemple quelque chose de très nouveau. Elle introduisait une distinction, à laquelle on ne s'était pas encore arrêté, entre la manière de concevoir le temps et celle de le mesurer. Il a paru opportun à l'école relativiste de se débarrasser d'un concept inaccessible à la mesure, et de rendre le temps entièrement relatif aussi bien que local. Cette idée paraît maintenant toute naturelle à certains initiés. Elle ne choque plus ceux qui ont pris la peine de chercher à comprendre les éléments de la théorie de la relativité restreinte. Mais c'est néanmoins la grande majorité du

public instruit dont l'esprit reste fermé à cette idée, et cela, croyons-nous, pour les raisons suivantes :

Deux notions fondamentales ont guidé l'humanité dans l'étude des phénomènes naturels : *l'espace* et le *temps*.

Ces deux notions ont pris ainsi un caractère absolu qu'il n'est pas possible de leur enlever sans rendre à peu près inintelligible, pour l'immense majorité des hommes, tout exposé d'une synthèse de la physique.

En effet, ces notions résultent, par voie d'induction, de la généralisation de nos diverses sensations. Toute induction implique *permanence*. La notion d'espace n'a donc de sens, par exemple, qu'associée à l'idée de la permanence de formes, de la rigidité, de la solidité absolues.

Il en est de même pour la notion de temps. Celui-ci ne peut se concevoir que comme le même pour tout l'univers et comportant la même échelle à toutes les époques.

Nous savons bien que les mesures que nous pouvons faire de l'espace et du temps sont imparfaites, et ne répondent qu'approximativement à cette idée de permanence. Mais il n'y a là qu'un cas particulier d'une difficulté que l'homme rencontre à chaque pas dans la réalisation de ses concepts, sans qu'aucune atteinte soit portée à ceux-ci. Nous concevons bien une ligne ou un point géométriques et nous savons non moins bien qu'il nous est impossible de les réaliser.

La difficulté de mesure correcte de l'espace et du temps ne peut donc modifier le caractère de ces notions elles-mêmes, qui ont pour nous une valeur absolue. Nous admettrons bien, par exemple, que notre état de mouvement par rapport à un autre monde nous conduise à une mesure de l'espace différente de celle que pourraient faire les habitants de cet autre monde. Mais nous sommes complètement désorientés si l'on veut nous priver de la notion d'un absolu qui règne dans tout l'Univers et par rapport auquel il y a *un* espace et *un* temps, les mêmes pour tous les points et pour toutes les époques de cet absolu. On n'a pas le droit, au nom d'une facilité de mesure, de nous priver de cette base indispensable au fonctionnement normal de notre esprit, et toute synthèse physique doit, en fin de compte, s'accommoder de cette nécessité.

IV. Entités accessoires. — Les notions d'espace et de temps sont, croyons-nous, les seules fondamentales. Toutefois, les besoins de la pratique obligent à utiliser en physique la notion d'autres entités, jusqu'ici irréductibles à celles d'espace et de temps, telles que la *masse*, la *température*, la *quantité d'électricité*. Ces entités sont des grandeurs susceptibles de mesure, comme l'espace et le temps, et servent de base, au même titre que celles-ci, aux systèmes d'unités actuellement employés.

Nous avons l'habitude d'appliquer ces entités à des objets qui paraissent leur servir de support, et que nous désignons par le terme générique de *matière*.

V. Différentes manières de concevoir l'éther.

— En dehors de ces objets matériels, les physiciens ont été conduits à concevoir l'existence d'une autre entité, différente de la matière, et qu'ils ont appelée *éther*.

Ce sont les phénomènes lumineux qui ont fini par imposer aux physiciens cette notion d'un milieu de transmission présent en tous points de l'Univers accessible à nos sens. L'hypothèse de l'émission, longtemps en faveur, a dû, en effet, à la suite des travaux de Fresnel, et non toutefois sans une grande résistance de la part de nombre de savants, faire place à celle des ondulations, qui exige l'existence d'un milieu de propagation régnant partout.

A vrai dire, la gravitation universelle et les effets de la rotation auraient dû conduire les savants à reconnaître d'emblée l'existence de ce milieu. Nous ne pouvons en effet concevoir des actions à distance sans un lien entre les corps qui agissent les uns sur les autres ; l'idée d'impulsion première, qui pourrait, par exemple, venir à l'esprit pour expliquer ces actions, ne résistant pas à l'examen. Il faut donc qu'un milieu répandu partout remplisse cette fonction de lien entre les objets matériels.

D'autre part, comme il est impossible de considérer la rotation d'un corps matériel comme un phénomène relatif par rapport à la matière des autres corps sans aboutir à des conséquences absurdes, il faut bien que les effets manifestes de cette rotation soient dus à un milieu par rapport auquel elle a lieu. A un point de vue mathématique et abstrait, on pourrait concevoir différents milieux coexistants remplissant séparément chacun des rôles précédents. Mais le besoin d'unité qui caractérise nos conceptions de l'univers ne peut supporter cette pluralité.

Le milieu unique qui servirait ainsi à la fois de support aux ondes lumineuses, de lien entre corps soumis à la gravitation et de système de référence aux corps en rotation a été conçu par les physiciens de différentes manières, suivant le point de vue auquel ils se sont placés.

L'éther de Fresnel était caractérisé simplement par des propriétés élastiques analogues à celles d'un milieu matériel et qui pouvaient suffire à une étude de l'optique indépendante de celle des autres branches de la physique.

Chez Maxwell, l'éther prenait déjà un autre caractère qui a été précisé plus tard par Lorentz.

Lorentz suppose l'éther immobile et répandu partout et ne lui donne d'autre propriété que de transmettre les phénomènes électromagnétiques à une vitesse constante, égale à celle de la lumière. Dans cette conception, l'éther joue uniquement le rôle de milieu de référence. C'est notre espace absolu, dont il ne se distingue que par une vitesse finie de propagation. Toutes les propriétés physiques sont attachées à la matière baignée par l'éther. Ce point de vue est extrêmement *commode* comme aurait dit Poincaré, mais il ne peut être adopté sans discussion, car il contredit manifestement l'idée que nous nous faisons de l'éther

comme milieu de transmission des forces. Il n'est évidemment pas possible que l'éther ne joue pas un rôle dans la genèse de ces forces qu'il se charge de transmettre, et il n'est pas possible non plus qu'il transmette celles-ci sans être affecté par ce passage.

Devons-nous donc renoncer à l'avantage incontestable que présente l'éther de Lorentz et qui consiste à servir de milieu de référence conforme à notre espace absolu? Nous ne le pensons pas et l'expérience prouve, d'ailleurs, que cette conception commode est en même temps très exacte dans des limites très étendues d'application pratique,

Cela tient à ce que les éléments matériels n'occupent, dans l'éther, qu'une place absolument négligeable, ainsi qu'il résulte d'expériences nombreuses et concordantes ⁽¹⁾. L'homogénéité et l'isotropie de l'éther ne sont donc troublées, dans l'ensemble, que d'une manière négligeable par la présence de la matière. La perturbation est certainement notable au voisinage immédiat des corpuscules matériels; on en tient compte en attachant à ceux-ci un certain nombre de propriétés: masse, charge électrostatique, etc. Tant que le mouvement de la matière reste tel que la vitesse soit faible par rapport à celle de la lumière, les lois des phénomènes physiques correspondent dans l'éther de Lorentz à celles de la mécanique rationnelle et de l'électromagnétisme. Il devient nécessaire de leur apporter des modifications lorsque la vitesse devient du même ordre que celle de la lumière. Ces modifications portent sur les valeurs des grandeurs attachées aux éléments matériels, qui sont ainsi fonctions de la vitesse.

Pour caractériser d'un mot l'éther de Lorentz, on peut lui appliquer l'épithète d'*euclidien*, associée à l'idée d'une transmission en ligne droite et à vitesse constante de la lumière. Dans cet éther euclidien, les différents phénomènes physiques n'apparaissent plus que comme des entités mathématiques sans action sur ce milieu qui demeure indéformable. Existe-t-il dans la nature des phénomènes accessibles à nos instruments de mesure et qui nous obligent à abandonner cette conception simple de l'éther de Lorentz, et à envisager un éther non euclidien? La remarque que nous avons faite plus haut sur le peu de place que la matière occupe réellement dans l'éther pourrait nous incliner à penser qu'une telle complication est bien souvent inutile. Cependant, certaines circonstances peuvent provoquer l'accumulation des effets de la matière sur les phénomènes propagés dans l'éther. C'est ainsi que peut se concevoir un effet du champ de gravitation d'un astre sur les rayons lumineux passant au voisinage de cet astre. Nous sommes, par là même, conduits à comprendre comment la théorie de la relativité généralisée d'Einstein a pu introduire la notion d'éther non euclidien.

Ether de Fresnel, éther euclidien de Lorentz, éther non euclidien d'Einstein, telles sont les conceptions de

l'éther les plus caractéristiques auxquelles se réfère la physique moderne.

Il n'est pas inutile d'insister sur la propriété fondamentale qui distingue l'éther de Lorentz de l'espace absolu. Dans l'éther de Lorentz, les phénomènes électromagnétiques, et même tous les phénomènes se transmettent avec une vitesse V , constante dans toutes directions par rapport à l'éther, les mesures d'espace et de temps correspondant à l'espace et au temps absolus. Pour un système en mouvement par rapport à l'éther, la vitesse de transmission, mesurée avec les mêmes unités d'espace et de temps, doit donc être différente de V . La surprise causée par le résultat de l'expérience de Michelson a été précisément que ce résultat impliquait une vitesse V en toutes directions dans le système en mouvement. Lorentz devait en conclure logiquement que les mesures de temps et d'espace employées implicitement dans cette expérience ne correspondaient pas au temps et à l'espace absolus; c'est ainsi qu'il a été conduit à la contraction et au temps local.

À la vérité, Lorentz aurait pu faire une autre hypothèse pour expliquer le résultat de l'expérience de Michelson, sans faire intervenir la contraction, en admettant que la lumière se transmette à vitesse V dans toute direction par rapport à la source. Cette hypothèse d'un éther *émissif* résiste assez bien à l'examen, lorsqu'on étudie ses conséquences dans des phénomènes autres que celui qui fait l'objet de l'expérience de Michelson. C'est ainsi qu'elle n'est pas en désaccord, à priori, avec le résultat d'une expérience récente de MM. Fabry, Buisson et Majorana au sujet de la réflexion sur un miroir mobile par rapport au foyer lumineux. Mais son application à la réflexion exigerait une révision de la théorie actuelle de ce phénomène. Il en serait vraisemblablement de même dans d'autres cas, en particulier pour la gravitation universelle. On peut d'ailleurs remarquer, d'une manière générale, que l'éther émissif devrait avoir des propriétés difficiles à concilier avec sa constitution; en particulier, il faudrait admettre que les différentes parties de l'onde réagissent les unes sur les autres pour que celle-ci reste sphérique, quel que soit le mouvement du foyer.

Enfin, Sagnac, en faisant tourner un plateau portant un système optique interférentiel, a pu déceler la différence de marche de deux rayons issus d'une même source et parcourant le même circuit, en sens inverse, lorsque le plateau tourne. Cette différence de marche correspond à celle que l'on doit trouver si l'on fait l'hypothèse que les rayons issus de la source mobile se déplacent à une vitesse V par rapport à l'éther immobile.

Sagnac montre (*Journal de Physique*, mars 1914) qu'une différence notable de vitesse de transmission par rapport à l'éther donnerait lieu à des différences de marche s'écartant de celles observées de quantités supérieures aux erreurs possibles d'expérience.

Cette expérience paraît donc constituer l'« *experimentum crucis* » permettant de faire un choix entre

(1) Jean PERRIN. *Les atomes*. Alcan, 1913,

l'éther émissif et l'éther absolu de Lorentz, en faveur de ce dernier.

VI. L'expérience de Michelson. — Ayant ainsi exposé les motifs qui militent en faveur de l'éther de Lorentz, nous allons montrer comment, du résultat de l'expérience de Michelson, on peut déduire la valeur de la contraction due au mouvement.

Il est utile de rappeler tout d'abord le dispositif de cette expérience, qui est le suivant (fig. 1).

Deux rayons issus d'une même source S sont réfléchis au moyen d'un jeu de miroirs de manière à venir inter-

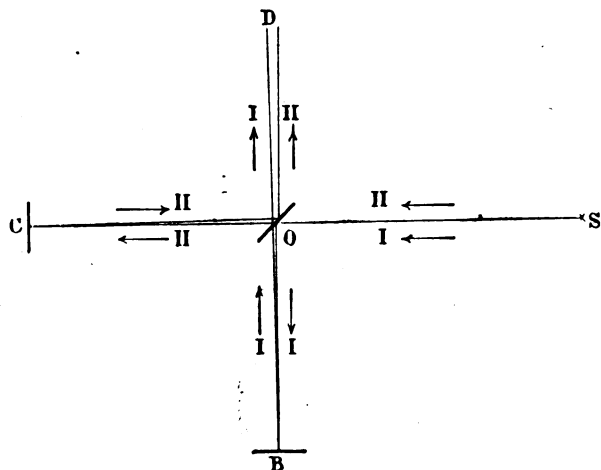


Fig. 1.

féer en D. Le premier I est réfléchi par une glace sans tain O, inclinée de 45° sur la direction du rayon, puis tombe normalement sur le miroir B qui le renvoie en D. Le deuxième II traverse la glace sans tain, se réfléchit normalement sur le miroir C, puis à 45° sur la glace sans tain, pour arriver finalement en D.

Si, dans la figure, on fait abstraction des portions de rayons SO et OD, on peut, par la pensée, supposer la source reportée en O. L'artifice de la glace sans tain permet donc d'étudier la différence de marche de deux rayons partant d'une même source O dans deux directions rectangulaires et ramenés par réflexion au point O. Ce point entraîné dans le mouvement de la terre, étant ainsi vraisemblablement mobile par rapport à l'éther, la différence de marche des rayons OBO et OCCO aurait dû varier suivant l'orientation du système par rapport au mouvement de la terre, et cette variation se serait traduite par un déplacement des franges d'interférence produites en D. Or, aucun déplacement des franges n'a jamais pu être constaté, malgré la précision des mesures qui dépassait l'ordre du carré de l'aberration.

On en conclut qu'un rayon partant du point O et y revenant, après réflexion sur un miroir fixe par rapport à ce point, met toujours le même temps pour effectuer ce trajet, quelle que soit sa direction par rapport à celle du mouvement du point O.

Passons maintenant à l'interprétation de ce résultat. Soit OM (fig. 2) une droite de longueur limitée L appartenant à un système mobile avec la vitesse V dans la direction Ox.

O émet des signaux lumineux. Le rayon qui suivrait la direction OM si le système était au repos, atteindrait le point M quand celui-ci sera venu en M₁. En dési-

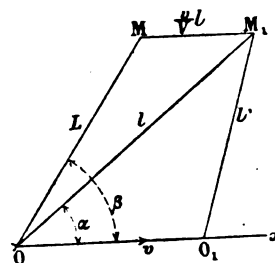


Fig. 2.

gnant OM₁ par l' et par V, la vitesse de transmission, M ayant mis le même temps pour venir de M en M₁, avec la vitesse v, que le rayon pour parcourir OM₁ avec la vitesse V, on a, en désignant par λ le rapport de v à V :

$$MM_1 = \lambda l.$$

Si, arrivé en M₁, le rayon est réfléchi par un miroir dans une direction qui serait celle de MO si le système était au repos, ce rayon suivra en réalité la direction M₁O₁, O₁ étant la nouvelle position de O quand le rayon atteindra O₁. Désignons M₁O₁ par l', par α l'angle de OM₁ avec Ox; par β, celui de OM avec Ox, par t le temps total mis par le rayon pour parcourir le chemin OM, O₁, on déduit de la figure 2 les relations suivantes :

$$(1) \quad \begin{cases} L^2 = l^2 (1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \alpha), \\ l'^2 = l^2 + v^2 t^2 - 2 l v t \cos \alpha, \\ t = \frac{l + l'}{V}; \end{cases}$$

d'où l'on tire :

$$(2) \quad t = 2l \frac{1 - \lambda \cos \alpha}{V(1 - \lambda^2)} = \frac{2L(1 - \lambda \cos \alpha)}{V(1 - \lambda^2)\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \alpha}}.$$

Le résultat de l'expérience de Michelson prouve que t doit être indépendant de α. Si donc on admet que V est invariable, il faut nécessairement que L varie. Si L₀ est la valeur de L pour cos β = 0, c'est-à-dire pour cos α = λ, on a :

$$(3) \quad L = \frac{L_0 \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \alpha} \sqrt{1 - \lambda^2}}{1 - \lambda \cos \alpha}.$$

Considérons d'autre part un ellipsoïde de révolution aplati dans la direction Ox . Soit

$$k = \sqrt{1 - \lambda^2}$$

le facteur d'aplatissement. Considérons (fig. 3) un rayon $OM = L$ faisant un angle β avec Ox . Le rayon correspondant de la sphère avant aplatissement était $OM_0 = L_0$ faisant un angle γ avec Ox . Figurons de

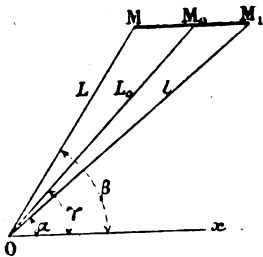


Fig. 3.

plus la longueur OM_1 faisant un angle α avec Ox , et telle que $MM_1 = \lambda L$.

On déduit facilement de la figure 3 les relations suivantes :

$$L^2 = L_0^2 (1 - \lambda^2 \cos^2 \gamma),$$

$$L \cos \alpha = k L_0 \cos \gamma + \lambda L.$$

On a de plus, comme précédemment :

$$L = l \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \alpha}.$$

En éliminant l et $\cos \gamma$ entre ces trois relations, on retrouve la relation (3).

VII. Contraction et ralentissement du système mobile. — Donc, le résultat de l'expérience de Michelson peut s'expliquer par un aplatissement général du système mobile dans le sens du mouvement, suivant le facteur de Lorentz.

$$k = \sqrt{1 - \lambda^2},$$

de telle sorte qu'une sphère soit devenue un ellipsoïde que nous désignerons sous le nom d'*ellipsoïde de Lorentz*.

On peut vérifier que les dimensions normales au mouvement restent inchangées.

En effet si, dans la relation (2), on fait $\cos \alpha = \lambda$, on trouve :

$$l = \frac{2L_0}{V\sqrt{1 - \lambda^2}}; \quad \text{pour } \lambda = 0, \quad l = \frac{2L_0}{V}.$$

L_0 est donc bien la longueur correspondant au système au repos.

On remarquera que, dans le système mobile, le temps mis par le rayon lumineux pour parcourir le trajet *aller et retour* entre deux points rigidement liés est augmenté dans le rapport de

$$1 \text{ à } \sqrt{1 - \lambda^2}$$

et que ce temps est le même dans toutes les directions.

Ce ralentissement s'explique aisément si l'on considère la direction normale au mouvement. Dans cette direction la longueur est inchangée, mais le mouvement introduit une composante λL , L étant le trajet parcouru par la lumière, de sorte que le trajet réellement parcouru par le rayon est l'hypoténuse d'un triangle rectangle de côtés L_0 et λL , égal par conséquent à

$$\frac{L_0}{\sqrt{1 - \lambda^2}}.$$

Donc, lorsqu'il s'agit de phénomènes se transmettant à la vitesse V par rapport à l'éther, pour un observateur entraîné par le système mobile, et mesurant, avec l'échelle du temps absolu, la durée de l'aller et retour d'un de ces phénomènes, il est indispensable d'admettre un ralentissement suivant le facteur de Lorentz, quelle que soit la direction dans laquelle on envisage la propagation. Mais ce ralentissement n'est qu'apparent et est dû à la composante introduite par le mouvement dans la direction de celui-ci.

On voit ainsi comment l'expérience de Michelson conduit à la contraction longitudinale et au ralentissement envisagés par Lorentz.

Mais il convient de distinguer la nature de ces deux phénomènes :

La contraction apparaît comme un phénomène réel s'appliquant à tout corps en mouvement par rapport à l'éther. Elle est ignorée de l'observateur entraîné dans ce mouvement, puisque ses instruments de mesure des longueurs sont également contractés.

Le ralentissement, au contraire, n'est qu'apparent, car le trajet réellement effectué par le rayon et qui n'est vu que par un observateur au repos, correspond bien au temps mesuré par ce même observateur au moyen d'une horloge réglée de manière à faire correspondre un temps déterminé à un trajet également déterminé parcouru par un rayon lumineux.

L'observateur du système mobile, lorsqu'il répète l'expérience de Michelson, constatant, au contraire, toujours les mêmes phénomènes, quelles que soient la vitesse et la direction du mouvement, est fondé à penser que la vitesse de propagation de la lumière est constante par rapport à lui-même. En se reportant à la démonstration donnée plus haut, on voit qu'il n'en est ainsi que grâce à la contraction de Lorentz. Sans elle, la vitesse apparente de propagation varierait avec la direction. Cela n'est vrai, d'ailleurs, que pour un foyer entraîné dans le mouvement. Pour un foyer immobile par rapport à l'éther, la vitesse apparaîtrait pour

l'observateur mobile composée avec celle de son mouvement. C'est ce qui constitue l'effet Doppler-Fizeau.

VIII. Le temps local de Lorentz. — Supposons maintenant qu'un même observateur puisse se transporter d'un système fixe dans un système mobile. Ses mètres subissant la contraction de Lorentz, comme les autres objets, il fera les mêmes mesures de longueur dans chacun de ces systèmes. Mais qu'advient-il de ses horloges ? la vérité est que personne n'en sait rien, sauf Einstein, qui a tranché la question en déclarant : ses horloges marqueront toutes le temps local de Lorentz. Nous ne croyons pas qu'il existe, à l'heure actuelle, aucune preuve de cette assertion. D'ailleurs, la légitimité des bases de la théorie de la relativité restreinte est un sujet sur lequel nous reviendrons. Pour le moment, il s'agit de préciser ce qu'est ce temps local de Lorentz. On n'insiste pas en général suffisamment sur ce point.

D'une manière générale, le temps local est celui que mesurent des observateurs appartenant à des systèmes en mouvement relatif et recevant les mêmes signaux à des instants qu'ils considèrent comme respectivement simultanés. On conçoit également que l'échelle des temps puisse n'être pas la même pour un observateur fixe par rapport à l'éther et pour un observateur en mouvement. Mais comment les mesures de temps et d'espace relatives à un même phénomène se correspondront-elles dans les deux systèmes ? tel est le problème qu'il y a lieu maintenant d'examiner et qui doit nous conduire à un groupe de relations, dites de transformation, entre les coordonnées et les temps respectivement dans les deux systèmes. Nous savons déjà, pour les longueurs, quelle erreur d'échelle fait l'observateur quand il se transporte dans le système mobile. Mais nous avons à examiner comment il apprécie les écarts de temps. Soient donc (fig. 4) deux signaux se déplaçant

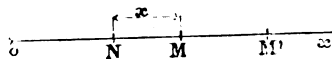


Fig. 4.

le long d'une droite Ox avec une vitesse V par rapport à l'éther. Ils ont été émis à un intervalle de temps t et se suivent par conséquent à une distance $x = Vt$.

Soit, d'autre part, un point M se déplaçant sur Ox avec une vitesse v . Quand M reçoit le premier signal, le second est en N , à une distance x en arrière de M et atteindra le point M quand celui-ci sera parvenu en M' . La distance MM' est telle que le temps t' mis par le point M pour aller de M en M' avec la vitesse v , soit le même que celui mis par le deuxième signal pour aller de N en M' avec la vitesse V . On a donc

$$V(t' - t) = vt',$$

d'où

$$t' = \frac{V}{V - v} t.$$

Mais l'observateur transporté dans le système mobile appelle toujours t l'intervalle de réception des deux signaux, qui est, en réalité, devenu t' . Ses mesures d'intervalles de temps doivent donc être multipliées par $\frac{V}{V - v}$ pour correspondre à celles qu'il aurait faites dans le système fixe.

Nous avons maintenant tout ce qu'il faut pour établir les relations de transformation que nous cherchons. Prenons une origine des temps commune par rapport aux deux systèmes, l'un fixe, l'autre mobile à une vitesse v dans une direction que nous prenons pour axe des x .

Nous envisagerons la transmission des signaux dans la direction de cet axe et nous n'écrirons que les relations qui s'y rapportent, les coordonnées y et z restant inchangées.

Pour un point M commun à un instant donné aux deux systèmes, nous aurons à considérer trois temps :

1° Le temps absolu, le même pour tous les points de l'éther et qui sera celui qui sépare l'instant considéré de l'instant origine ;

2° Le temps local dans le système fixe ;

3° Le temps local dans le système mobile.

Pour l'observateur du système fixe, le temps mesuré ne sera pas le même au même instant pour les différents points du système, mais les différences entre les mesures du temps correspondant aux mêmes phénomènes seront les mêmes pour les différents points, et l'échelle du temps local ne différera pas de celle du temps absolu.

L'observateur du système mobile mesurera le temps de la même façon, mais ses mesures seront faussées, comme nous venons de le voir, et les mesures de temps qu'il effectue doivent être affectées du coefficient $\frac{V}{V - v}$ pour correspondre au temps absolu.

Soient donc :

t_0 , le temps absolu mis par un signal pour aller de O en M , t_0 est aussi le temps local en O pour l'observateur fixe ;

t_1 , le temps local en M pour l'observateur du système fixe ;

x_1 , l'abscisse du point M dans le système fixe ;

t_2 , le temps local en M pour l'observateur du système mobile ;

x_2 , l'abscisse du point M dans le système mobile.

D'après la définition même du temps local, et d'après les remarques qui précèdent, on a immédiatement, en égalant à t_0 les mesures de temps des deux systèmes convenablement corrigées

$$(1) \quad t_0 = t_1 + \frac{x_1}{V} = \frac{V}{V - v} \left(t_2 + \frac{x_2}{V} \right).$$

Cette relation est indépendante de la position relative des axes fixes et mobiles. Il nous reste à exprimer la coïncidence des axes à l'origine des temps, que nous avons admise comme hypothèse,

Pour l'observateur du système fixe placé en M, l'abscisse de l'origine des axes mobiles est vt_1 , et l'abscisse du point M par rapport à l'origine des axes fixes est x_1 .

Pour l'observateur du système mobile placé en M, l'abscisse de ce point par rapport à l'origine des axes mobiles est x_2 et deviendrait kx_2 après correction. On a donc

$$(5) \quad kx_2 = x_1 - vt_1.$$

En éliminant x_2 entre les relations (4) et (5), il vient

$$(6) \quad t_2 = \left[1 + \left(\frac{1}{k} - 1 \right) \frac{v}{V} \right] t_1 - \left[\left(\frac{1}{k} - 1 \right) \frac{1}{V} + \frac{v}{V^2} \right] x_1$$

(5) et (6) sont les formules de transformation cherchées.

Ces formules ne sont pas celles de la transformation de Lorentz.

On peut donc se demander ce qu'il faudrait faire pour trouver ces dernières formules. La réponse est simple : il suffit de mesurer les intervalles de temps par proportionnalité avec des longueurs, *ce qu'on fait en particulier implicitement dans l'expérience de Michelson*. Alors, en plus de la correction à introduire pour tenir compte du mouvement relatif, il faut appliquer le facteur k aux mesures de temps faites dans le système mobile comme on l'applique aux mesures de longueur. La relation (4) devient ainsi

$$(7) \quad t_1 + \frac{x_1}{V} = \frac{kV}{V-v} \left(t_2 + \frac{x_2}{V} \right).$$

En éliminant x_2 entre les relations (5) et (7) il vient

$$(8) \quad kt_2 = t_1 - \frac{v \cdot x_1}{V^2}$$

(5) et (8) sont bien les formules de la transformation de Lorentz.

IX. L'expérience de Fizeau n'est pas un « experimentum crucis » de la théorie de la relativité

— La distinction que nous venons de faire est capitale. Mais, avant de tirer la conclusion qu'elle comporte, nous allons nous servir de ce qui précède pour réfuter une assertion d'Einstein relative à l'expérience célèbre de Fizeau sur l'entraînement des ondes par la matière.

On sait que Fresnel avait déduit de considérations théoriques la vitesse apparente des ondes lumineuses dans un milieu pondérable en mouvement. Le résultat de la théorie de Fresnel a été vérifié par les expériences de Fizeau et celles de Michelson et Morley. Dans ces expériences, deux rayons issus d'une même source parcouraient un même chemin à travers des courants d'eau de sens inverse et étaient ramenés par un miroir à leur point de départ. Un dispositif interférentiel permettait alors de mesurer leur différence de marche,

d'où se déduisait l'effet du mouvement sur la vitesse de propagation.

Einstein fait le raisonnement suivant pour montrer que l'expérience de Fizeau, Michelson et Morley est un « experimentum crucis » de la théorie de la relativité.

Dans la mécanique de Galilée, la vitesse U d'un mobile par rapport à un système de référence fixe est la somme algébrique de sa vitesse U' par rapport à un système de référence en mouvement et de la vitesse v de ce dernier système de référence par rapport au système fixe

$$(9) \quad U = U' + v.$$

Dans la mécanique de la relativité cette relation est remplacée par la suivante

$$(10) \quad U = \frac{U' + v}{1 + \frac{U'v}{V^2}},$$

V étant la vitesse de la lumière dans le vide.

En prenant pour mobile un rayon lumineux, on constate que la relation (10) est d'accord avec le résultat de l'expérience de Fizeau, d'où Einstein conclut à une confirmation par cette expérience de la théorie de la relativité.

Examinons ce raisonnement d'un peu près, sans discuter pour le moment l'assimilation, qu'il comporte implicitement, de la vitesse d'un mobile à la vitesse de propagation d'un phénomène lumineux.

La relation (10) se déduit des relations (5) et (8) en prenant pour longueur x_2 celle parcourue dans le temps t_2 par un rayon lumineux. On a donc

$$U' = \frac{x_2}{t_2} = \frac{x_1 - vt_1}{t_1 - \frac{vx_1}{V^2}}$$

On a de même

$$U = \frac{x_1}{t_1} = \frac{U' + v}{1 + \frac{U'v}{V^2}}$$

$\frac{V}{U'}$ est l'indice de réfraction n du milieu en mouvement.

On a donc, en négligeant les termes de degré au moins égal au carré de $\frac{v}{V}$,

$$U = U' + v \left(1 - \frac{1}{n^2} \right),$$

formule de Fresnel-Fizeau.

Faisons la même opération avec les formules (5) et (6). Nous arrivons identiquement au même résultat.

On ne peut donc pas dire que le résultat de l'expérience de Fizeau soit un « experimentum crucis » de la

théorie de la relativité, puisque des formules de transformation différentes de celles de cette théorie conduisent au même résultat. On pourrait imaginer une infinité de formules de transformation jouissant de cette propriété et ne possédant pas les caractères tout spéciaux du groupe de Lorentz.

D'ailleurs, n'est-il pas bien dangereux d'assimiler la vitesse de transmission d'un phénomène lumineux à celle d'un mobile et de vouloir lui appliquer la même loi de composition? C'est un point qu'il nous paraît utile d'aborder sans plus tarder.

Un mobile M se déplace avec une vitesse U' par rapport à un milieu matériel, sur lequel il prend appui, et qui est fixe lui-même par rapport à un point de repère S. Le milieu prend une vitesse v par rapport au point S. Si cette translation ne modifie pas les propriétés du milieu, la vitesse de M par rapport à S devient

$$U = U' + v.$$

Nous connaissons une modification possible des propriétés du milieu matériel, c'est la contraction de Lorentz, si S est, par exemple, un point de l'éther. Mais, si l'on néglige, comme Einstein le fait à propos de la formule de Fresnel-Fizeau, les termes de l'ordre du carré de l'aberration $\frac{v^2}{V^2}$, il n'y a pas à tenir compte de cette contraction.

Supposons maintenant que le mobile M prenne appui, non plus sur le milieu matériel, mais sur le point S lui-même. Ce serait par exemple le cas du touage. Si la force qui anime le mobile est constante, et si la résistance qu'il éprouve de la part du milieu n'est fonction que de sa vitesse relative par rapport à celui-ci, on a encore

$$U = U' + v.$$

On voit donc combien de conditions il faut déjà, dans le cas du mobile matériel, pour que la loi de composition des vitesses soit respectée. Passons maintenant au cas du rayon lumineux. Nous cherchons vainement comment les théories modernes de la lumière pourraient s'accommoder d'une analogie avec un mobile, qui aurait pour conséquence de conduire, par exemple, à la notion d'une force constante exercée par l'onde et d'une résistance du milieu fonction de la vitesse.

La conception d'un milieu matériel formé de particules nous conduit à une notion toute différente pour l'action de la matière sur l'onde lumineuse, et qui consiste en un retard de phase produit par la composition avec l'onde principale d'ondes secondaires provenant des éléments matériels du milieu, ébranlés par l'onde principale ⁽¹⁾. Il est tout naturel de supposer, dans ces conditions, que le retard est, en première approximation, proportionnel au nombre de particules matérielles

rencontrées et, par suite, à la longueur du milieu traversée par l'onde; nous allons voir que cette hypothèse toute simple conduit directement à la formule de Fresnel-Fizeau. Soit t le retard correspondant à une longueur l du milieu. La vitesse de propagation U' dans le milieu au repos sera donnée par la relation suivante

$$(11) \quad \frac{l}{U'} = \frac{l}{V} + t.$$

L'indice de réfraction du milieu a pour valeur

$$n = \frac{V}{U'}.$$

On déduit donc de la relation (11)

$$(12) \quad t = l \frac{n - 1}{V}.$$

La source restant fixe, supposons maintenant le milieu en mouvement à vitesse v dans le sens de la propagation. Appelons t_1 le temps que le rayon mettrait à traverser la longueur l du milieu, si celui-ci n'était pas réfringent. La vitesse relative de propagation étant $V - v$, on aura

$$(13) \quad (V - v) t_1 = l.$$

Le milieu étant réfringent, le temps t_1 est augmenté de t . La nouvelle vitesse de propagation par rapport au milieu est U'_1 , telle que

$$(14) \quad U'_1 (t + t_1) = l,$$

et la vitesse de propagation par rapport à l'éther est devenue

$$(15) \quad U' = v + U'_1.$$

En éliminant t et t_1 entre les relations (11), (13) et (14), il vient

$$\frac{1}{U'_1} = \frac{1}{U'} - \frac{1}{V} + \frac{1}{V - v},$$

ou, en négligeant les termes en $\frac{v^2}{V^2}$,

$$U'_1 = U' \left(1 - \frac{v U'}{V^2} \right) = U' - \frac{v}{n^2},$$

et

$$U' = U' + v \left(1 - \frac{1}{n^2} \right),$$

formule de Fresnel-Fizeau.

En présence d'une explication aussi simple et aussi conforme aux idées modernes sur la constitution de la

⁽¹⁾ Conception déjà envisagée par Lorentz. Voir à ce sujet : *Ions, électrons, corpuscules*, p. 448.

matière, de l'effet du mouvement du milieu sur la propagation de la lumière, nous pouvons à bon droit nous demander comment des physiciens sérieux ont pu se servir, pour justifier une théorie qui prétend atteindre à tout ordre d'approximation, du résultat d'une expérience qui ne parvient qu'à la précision du premier degré de l'aberration et qui a grandes chances par suite de satisfaire à toutes les théories raisonnables, mais moins approchées.

X. Peut-on déceler le mouvement de la Terre par rapport à l'éther ? — Ainsi les formules de transformation (5) et (6) sont tout aussi justifiées que celles de Lorentz, si l'on peut mesurer les temps autrement que par comparaison avec des longueurs. Cette conclusion n'est pas sans importance. En effet, le groupe de Lorentz jouit d'une propriété toute particulière, fort gênante pour la découverte des mouvements de la matière par rapport à l'éther. Les relations de ce groupe sont réciproques, c'est-à-dire que les coordonnées du système K s'expriment en fonction de celles du système K' par des relations qui diffèrent seulement de celles qui lient les coordonnées du système K' à celles du système K , par le changement de v en $-v$. C'est-à-dire que les apparences des deux systèmes sont réciproques. C'est la propriété fondamentale de la relativité, celle qui fait considérer comme une apparence du mouvement relatif la contraction de Lorentz, celle aussi qui conduit à cette conclusion décevante qu'il est impossible de connaître notre mouvement de translation par rapport à l'éther.

Or, les relations (5) et (6) ne jouissent pas de cette propriété. Elles doivent donc permettre de distinguer un système fixe par rapport à l'éther d'un système mobile. Il faut, pour cela, ainsi que nous l'avons vu, que l'on puisse mesurer le temps local autrement que par l'intermédiaire de mesures de longueur.

Nous sommes ainsi amenés à envisager la question de la relativité sous un aspect purement pratique, celui de la précision des mesures de temps.

Ce qui permet, dans l'expérience de Michelson par exemple, d'atteindre un degré de précision tout à fait spécial, c'est, d'une part, que le procédé de mesure employé élimine la nécessité de *conserver* le temps ; d'autre part, qu'il ramène la mesure de temps à une mesure de longueur, elle-même amplifiée par le phénomène d'interférence. Ce procédé de mesure conduit, comme nous l'avons vu, à l'emploi du temps local de Lorentz et, toutes les fois qu'on voudra atteindre le même degré d'approximation, il faudra probablement y recourir. Il peut suivre de là l'impossibilité pratique de déceler des mouvements par rapport à l'éther dont la vitesse ne dépasse pas quelques dizaines de kilomètres par seconde, si les mesures qu'il faudrait faire exigeaient l'emploi du temps local de Lorentz. Or on sait que la vitesse du mouvement du système solaire vers l'apex est probablement tout au plus de cet ordre de grandeur. Si donc les étoiles visibles représentent l'ensemble de l'Univers inclus dans l'éther, il est vrai-

semblable que cet ensemble est immobile par rapport à l'éther et il y a par suite peu de chances d'arriver à déceler le mouvement de la Terre par rapport à ce milieu.

Nous devons peut-être même aller encore plus loin et conclure à l'impossibilité absolue d'une telle constatation.

En effet le problème posé consiste à comparer des temps de marche de rayons lumineux issus de source terrestre. Si la source était extraterrestre, nous pourrions mesurer notre vitesse par rapport à elle, mais la difficulté serait encore plus grande qu'avec la source terrestre si nous voulions évaluer la vitesse par rapport à l'éther. Pouvons-nous, dans les limites qui nous sont ainsi imposées, échapper à la condition de comparer des temps entre eux en passant par l'intermédiaire d'une comparaison de longueurs ? Cela semble difficile ; car nous n'avons pas en nous d'étalon de temps assez précis pour une telle comparaison et, d'ailleurs, si nous en avons un, pourrait-il être indépendant de l'espace ? Celui-ci intervient également dans les instruments de mesure dont nous disposons et dans nos sens eux-mêmes.

Après examen approfondi de la question, nous ne voyons donc aucun moyen d'aboutir dans un sens positif et nous pouvons conclure que s'il est bien réellement impossible, comme cela nous apparaît, de déceler le mouvement de la Terre par rapport à l'éther, la cause principale de cette impossibilité est la contraction de Lorentz, à laquelle s'ajoute la nécessité de comparer des temps en passant par l'intermédiaire de mesures de longueur.

XI. Portée pratique du temps local. — Quelle est donc, dans ces conditions, l'utilité des formules de transformation de Lorentz et comment sur cette base, qui nous apparaît pour le moment limitée à une manière toute particulière de considérer la question du temps, a-t-il été possible d'édifier une théorie qui prétend nous conduire à une connaissance approfondie des lois de la nature ?

Lorsque nous n'avons pas spécialement en vue la recherche de notre mouvement par rapport à l'éther, nous basons nos procédés de mesure du temps sur les deux opérations suivantes :

1° Nous admettons la périodicité des mouvements du système solaire, compte tenu des perturbations, et nous en déduisons par des observations convenablement corrigées de passages d'astres au méridien un certain étalon de temps ;

2° Nous faisons conserver au moyen de garde-temps l'étalon de temps obtenu par les observations astronomiques.

Nous devons reconnaître que ces deux opérations rivalisent entre elles d'imprécision et surtout d'incertitude. Nous en sommes seulement, en effet, à espérer une précision du centième de seconde par jour, ce qui implique d'ailleurs un degré de perfection remarquable des appareils, des précautions minutieuses et une or-

ganisation internationale tout à fait complète de la radiotélégraphie, alors que, pour obtenir des mesures exactes au carré près de l'aberration, il faudrait réaliser au moins le millième de seconde.

Il ne peut donc être question de comparer notre temps pratique extrêmement grossier avec le temps local de Lorentz, lié par une relation si ténue à la vitesse relative. Nous pouvons affirmer, par exemple, que le temps que l'on pourrait mesurer sur le Soleil, s'il était habitable, et notre temps terrestre ne diffèrent absolument pas entre eux, à un degré de précision des mesures que sont loin d'atteindre nos procédés habituels. D'ailleurs la situation réelle est bien pire : nous sommes liés à la Terre, ou nous ne pouvons nous en détacher que par des mouvements dont la vitesse par rapport au sol ne permet aucune comparaison de temps local. Comme mesure réelle celui-ci n'existe donc pas.

Dans ces conditions, du moment que des relations de Lorentz on peut déduire tant de choses intéressantes au point de vue des lois naturelles, c'est que ces lois conditionnent elles-mêmes ces relations avec toutes leurs conséquences, parmi lesquelles le temps local. Or, nous sommes arrivés à cette conclusion que le temps local de Lorentz était exigé principalement par l'existence de la contraction. C'est donc cette contraction qui est la loi naturelle, d'où doivent découler toutes les conséquences auxquelles la théorie de la relativité est parvenue. Nous sommes ainsi conduits à rechercher les effets de cette contraction sur les différentes forces connues. C'est ce qui fera l'objet de la deuxième partie de cette étude.

F. GUÉRY.

(A suivre.)

Dispositif à impédance négative

A la suite de la publication dans le numéro du 14 janvier 1922 d'une analyse d'une communication faite à la British Association for the Advancement of Science par M. J. Scott-Taggart sur « Deux nouveaux dispositifs à résistance négative employés en radiotélégraphie, » nous avons reçu de M. Marius Latour la lettre suivante.

Je viens de lire dans la « Revue générale de l'Électricité » du 14 janvier 1922, t. XI, page 61, la reproduction d'une conférence faite devant la section G de la British Association à Édimbourg, par M. J. Scott Taggart, au sujet de deux nouveaux dispositifs à résistance négative par lampes à trois électrodes, désignées sous les noms de négatron et de biotron.

L'auteur parlant de ces dispositifs s'exprime en ces termes : « Il n'y a pas d'effet rétroactif comme dans les dispositifs employant deux résistances d'anodes ».

Je me trouve ainsi directement mis en cause par l'auteur et je me permets de décrire exactement le système plus simple et plus général que j'avais antérieurement imaginé pour réaliser, non pas seulement une *résistance* négative, mais une *impédance* négative de valeur quelconque (capacité négative, self-inductance négative aussi bien que résistance négative).

Sur la figure 1, on a représenté de la façon schématique habituelle, deux lampes à trois électrodes 1 et 2, comportant une plaque, une grille et un filament.

Les deux lampes sont connectées entre elles de façon à réaliser un amplificateur à résistances à deux étages. Le circuit-plaque de la lampe 1 est alimenté par la somme des deux tensions 3 et 5 à travers la résistance 12. La tension de la pile 5 est telle qu'elle compense normalement la chute ohmique du courant plaque dans la résistance 12 de sorte que la tension entre les bornes 10 et 11 est normalement égale à 0. De même, le circuit-plaque de la lampe 2 est alimenté par la somme des deux tensions 4 et 6 à travers la résis-

tance 15 et la tension entre les bornes 13 et 14 est normalement nulle ⁽¹⁾.

Supposons que, entre la grille et le filament de la lampe 1, c'est-à-dire entre les bornes 7 et 8, on branche

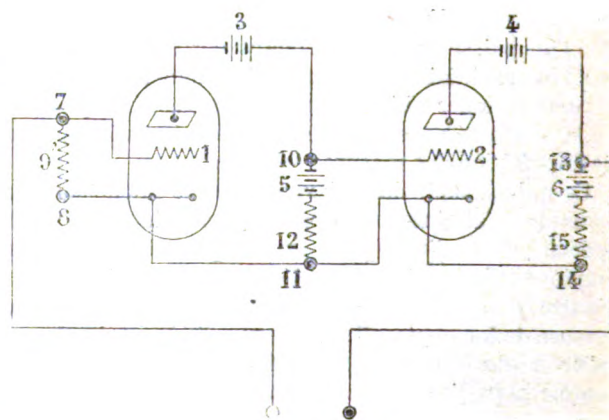


Fig. 1.

une impédance 9 de valeur Z . Si l'on considère le circuit 7, 8, 11, 14, 13, et si l'on imagine qu'un courant i traverse l'impédance 9 de valeur Z , on voit aussitôt

⁽¹⁾ Cette division de la pile plaque de chaque lampe en deux parties dans les amplificateurs à résistance, qui est utilisée commercialement par la Compagnie Marconi, avait déjà été antérieurement décrite dans mes brevets d'août 1916 n° 583 706 et de mai 1917 n° 512 619.

que le passage de ce courant développe une tension (Zi) entre la grille et le filament de la lampe 1 et que cette tension amplifiée successivement par les deux lampes 1 et 2 apparaît, d'après les caractéristiques habituelles des lampes, comme chute ohmique négative entre les bornes 14 et 13 de la résistance 15.

Il arrive donc que, pour une valeur appropriée de l'impédance g (ayant une résistance, une réactance et une capacitance arbitraires), on réalise entre les bornes 7 et 13 une *impédance négative de valeur quelconque*.

Au lieu de deux lampes, on peut utiliser un nombre pair quelconque de lampes. La distribution des piles ou tensions peut d'ailleurs différer de celle représentée sur la figure ci-dessus aussi longtemps que l'on fait en sorte qu'il ne passe pas de courant continu dans le circuit général.

L'impédance négative obtenue peut être intercalée dans une ligne téléphonique pour contre-balancer l'impédance de la ligne et réduire l'affaiblissement. En réalité, elle peut être intercalée avec interposition d'un transformateur.

Dans ses nouveaux dispositifs, comparés à celui que je viens de décrire, l'auteur semble croire qu'il ne fait pas intervenir d'effet rétroactif, mais, en réalité, du moment que l'on fait réagir par un couplage quelconque un circuit-plaque d'une lampe sur un circuit-grille de cette même lampe (directement ou indirectement), on fait bien intervenir un effet de rétroaction suivant les idées générales exprimées antérieurement. A ce point de vue, l'originalité des nouveaux dispositifs est plus apparente que réelle.

Marius LATOUR.

Revue, analyses et informations

Sur les actions mutuelles de courants et d'aimants plongés dans un milieu magnétique illimité.

Sous ce titre M. H. CHIPART a fait à la séance du 16 décembre 1921 de la Société française de Physique une communication dont voici le résumé :

Pour calculer les actions mutuelles de courants et d'aimants plongés dans un liquide magnétique illimité, Boltzmann a proposé, en 1893, les lois suivantes :

1° Les actions mutuelles de deux courants plongés dans un liquide illimité sont proportionnelles à la perméabilité μ de ce liquide ;

2° Les actions mutuelles de deux aimants varient en raison inverse de μ ;

3° L'action d'un courant sur un aimant est indépendante de μ .

Ces énoncés sont en désaccord avec la théorie de l'aimantation induite édictée par Poisson, laquelle nous apprend que les trois lois de Boltzmann ne s'appliquent qu'aux systèmes comprenant des aiguilles aimantées, des plaques aimantées tangentiellement, des courants linéaires et, enfin, des nappes de courants. En toute autre circonstance les règles de Boltzmann aboutiront nécessairement à des résultats inexacts. Un exemple topique est tiré de l'étude du principe d'équivalence entre courant linéaire et feuillet magnétique : de la théorie de Poisson, on conclut que l'énoncé donné par Ampère pour les courants et feuillets placés dans le vide subsiste sans modifications lorsque ces corps sont plongés dans un liquide magnétique, résultat tout différent de celui que fournissent les lois de Boltzmann.

Ces lois fictives ne peuvent donc être conservées. Parmi les énoncés généraux qu'on déduit de la théorie classique de Poisson, il en est trois qui paraissent devoir retenir plus particulièrement l'attention. Je me propose de les exposer successivement.

Première règle. — Soient U' , U'' , U''' ... divers solides pouvant présenter à la fois de l'aimantation permanente J_p et de l'aimantation induite J_i , et pouvant de plus être le siège de courants uniformes (courants fermés), dont nous désignerons par i , j les densités volumique et superficielle.

A ce système de solides U' , U'' , U''' ... plongés dans le liquide magnétique faisons correspondre un système auxi-

liaire formé de solides U'_1 , U''_1 , U'''_1 ... occupant les mêmes positions relatives, mais placés dans le vide. Ils seront définis comme suit : pour chaque configuration du système le solide U'_1 dérivera de U' en fixant sur ce dernier les charges superficielles ($\Sigma_2 d\omega = -J_n d\omega$) de polarisation induite dans le liquide. On conservera inaltérées les quantités J'_p , J'_i , i' , j' .

Dans les deux systèmes les champs magnétiques sont évidemment identiques.

Comparons les actions subies par le système U' , U'' , U''' ... d'une part, et le système U'_1 , U''_1 , U'''_1 ... d'autre part. La théorie de Poisson fournit la règle suivante :

Première règle. — Les actions subies par les corps U' , U'' , U''' ... plongés dans un liquide magnétique illimité, de perméabilité μ , sont μ fois plus grandes que les actions mutuelles des corps U'_1 , U''_1 , U'''_1 ... placés dans le vide.

Conséquence : Loi asymptotique. — Supposons que les distances des solides U' , U'' , U''' ... soient infiniment grandes : les quantités J et J_n relatives au solide U' ne seront pas influencées par les autres corps U'' , U''' ... et, par conséquent, les distributions magnétiques sur U'_1 , U''_1 , U'''_1 ... pourront être calculées comme si chacun de ces corps se trouvait seul dans l'espace. Nous dirons que ces distributions limites représentent les *homologues* de U' , U'' , U''' ... et, avec cette terminologie, nous aboutissons à la loi asymptotique suivante :

Lorsque les corps plongés dans le liquide sont très éloignés les uns des autres, leurs actions mutuelles sont μ fois plus grandes que celles de leurs homologues placés dans le vide.

Donnons quelques applications de cette loi asymptotique :

L'homologue d'un ellipsoïde possédant une aimantation uniforme J_p parallèle à l'axe a est un aimant permanent qui possède l'aimantation uniforme

$$\bar{J}_i = \frac{J_p}{\mu - kA}$$

$k = \frac{\mu - 1}{4\pi}$ désignant le coefficient d'aimantation du liquide.

A désignant la constante de Poisson relative à l'axe a ($A + B + C = 4\pi$), on a :

$A = a$ pour l'ellipsoïde infiniment allongé (aiguille aimantée).

$A = \frac{4\pi}{3}$ pour la sphère.

$A = 4\pi$ pour l'ellipsoïde infiniment aplati (feuillet magnétique); d'où ces conclusions :

1° Conformément aux vues de Boltzmann les actions mutuelles de deux aiguilles aimantées varient en raison inverse de μ .

2° Au contraire les actions de deux feuillets sont proportionnelles à μ ; l'action d'un feuillet sur une aiguille aimantée est indépendante de μ .

3° Les actions de deux sphères uniformément aimantées varient comme $\mu \left(\frac{3}{2\mu + 1} \right)^2$. L'action d'une de ces sphères

sur une aiguille aimantée varie comme $\frac{3}{2\mu + 1}$; son action

sur un feuillet varie comme $\frac{3\mu}{2\mu + 1}$.

On peut ajouter que les conclusions 1° et 2° subsistent lorsque les corps sont à distance finie.

SECONDE RÈGLE. — *Définition.* — Dans un aimant polarisable, c'est-à-dire un aimant présentant à la fois de l'aimantation permanente J_p et de l'aimantation induite $J_i = k'H'$, l'induction magnétique $B = H' + 4\pi J$ vérifie la relation.

$$B = \mu' H' + 4\pi J_p \quad \text{avec} \quad \mu' = 1 + 4\pi k'.$$

La quantité $\mu' = 1 + 4\pi k'$, qui intervient dans l'énoncé ci-dessous, s'appellera la *perméabilité* de l'aimant polarisable.

SECONDE RÈGLE. — *Pour calculer les actions mutuelles d'aimants et courants plongés dans un liquide illimité, de perméabilité μ , on commencera par faire ce calcul dans l'hypothèse où ces mêmes corps sont placés dans le vide et possèdent des aimantations permanentes et des perméabilités μ fois plus petites; on multipliera finalement par μ les résultats obtenus.*

On peut ajouter que, dans ces deux problèmes corrélatifs, les champs magnétiques ont même valeur, tandis que les inductions magnétiques sont dans le même rapport que les forces pondéromotrices.

Conséquences. — 1° Si l'on étudie le champ magnétique à l'intérieur du liquide, en utilisant comme corps d'épreuve un aimant permanent ayant des dimensions très petites, le couple appliqué à ce corps sera égal à $\mu [M_1 \cdot H]$:

M_1 désignant le moment magnétique de l'aimant homogène;

H désignant la valeur du champ, avant introduction du petit corps d'épreuve.

Représentons par M le moment magnétique du corps d'épreuve, nous avons :

$$\overline{M}_1 = \frac{\overline{M}}{\mu} \quad \text{pour l'aiguille aimantée.}$$

d'où le couple $[M \cdot H]$.

$$\overline{M}_1 = \frac{3\overline{M}}{2\mu + 1} \quad \text{pour la sphère, d'où le couple} \quad \frac{3\mu}{2\mu + 1} [M \cdot H],$$

$$\overline{M}_1 = \overline{M} \quad \text{pour le feuillet,} \quad [M \cdot B].$$

Pareillement c'est l'induction magnétique B que mettrait en évidence un petit courant linéaire utilisé comme corps d'épreuve.

2° Lorsqu'un courant linéaire est plongé dans un liquide, le champ total créé par ce courant et par le liquide polarisé sous son influence est indépendant de μ . Le même énoncé s'applique à une nappe de courants (baignée sur ses deux côtés), ainsi qu'à un feuillet magnétique.

3° Les actions mutuelles de deux courants linéaires sont proportionnelles à μ , résultat vérifié expérimentalement par Ziegler (1907).

4° Une petite sphère paramagnétique, de perméabilité μ' , plongée dans un liquide paramagnétique, de perméabilité μ , où règne un champ H_e , est soumise à la force pondéromotrice.

$$F = \frac{3\mu}{8\pi} U'' \frac{\mu' - \mu}{2\mu' + \mu} \text{gradient } H_e^2 \quad (U'' = \text{volume de la sphère}).$$

Pour $\mu' < \mu$ elle est sollicitée vers la région où H_e augmente; l'inverse a lieu pour $\mu' > \mu$.

En première approximation, on retrouve les règles données par Faraday (remplacement de k' par $k' - k$) et par Edmond Becquerel.

Observons que les anciennes expériences de E. Becquerel impliquent le rejet des lois de Boltzmann. La seconde loi, par exemple, entraîne cette conséquence singulière que les actions mutuelles de deux aimants permanents plongés dans un liquide magnétique s'annulent lorsque s'évanouit l'aimantation d'un seul de ces solides, résultat contredit par les expériences de Ed. Becquerel. Des raisonnements analogues prouveraient que les deux autres lois de Boltzmann ne sauraient être retenues.

TROISIÈME RÈGLE. — Les traités modernes qui s'inspirent des vues de Boltzmann énoncent que les actions mutuelles entre corps plongés dans un liquide μ sont définies par les formules.

$$(1) \quad \begin{cases} H = -\text{grad. } V + \text{curl. } P, & dF = \mu H d\sigma + \mu [i \cdot P] d\sigma, \\ V = \frac{1}{\mu} \int \frac{J \cos \theta}{r^2} d\sigma = \frac{1}{\mu} \int \frac{J}{r} d\sigma + \frac{1}{\mu} \int \frac{\Sigma}{r} d\sigma \\ (\rho = -\text{div. } J, \quad \Sigma = -\text{div. } J), \\ \vec{P} = \int \frac{\vec{r}}{r} d\sigma. \end{cases}$$

La règle de première approximation (remplacement de k' par $k' - k$) donnée par Faraday suffit à établir l'inexactitude de cet énoncé. Il est intéressant de constater qu'elle fournit le correctif à apporter aux formules (1) pour rétablir leur concordance avec la théorie de Poisson. On a en effet cette nouvelle règle.

TROISIÈME RÈGLE. — *Pour calculer les actions mutuelles de corps plongés dans un liquide, de perméabilité $\mu = 1 + 4\pi k$, on peut faire abstraction de ce liquide et appliquer les formules (1), à condition d'attribuer à chacun des corps un coefficient fictif d'aimantation ($k' - k$) égal à l'excès du coefficient véritable k' sur le coefficient k du liquide considéré.*

En d'autres termes, on remplacera l'équation de l'aimantation induite $J_i = k' H'$, par l'équation $J_i = (k' - k) H'$.

La démonstration de cette règle est basée sur le caractère solénoïdal du vecteur.

$$\mu H' + 4\pi J' = \mu' H' + 4\pi J_p.$$

Si l'on convient de donner à ce vecteur auxiliaire le nom d'*induction magnétique*, on a l'énoncé :

« Dans les deux problèmes corrélatifs envisagés par la troisième règle les champs, inductions magnétiques et forces pondéromotrices ont respectivement mêmes valeurs. Seules sont modifiées les aimantations totales $J' = J_p + J_i$. »

REMARQUE FINALE. — Tous les résultats qui précèdent s'étendent à l'électrostatique. Par conséquent les expériences statiques ne permettraient pas, à elles seules, de mettre en évidence la constante diélectrique et la perméabilité d'un liquide illimité non conducteur dans lequel seraient plongés des conducteurs électrisés, des diélectriques, des courants et des aimants.

Les formules de Lorentz apprennent que cette conclusion négative tombe en défaut lorsqu'on expérimente sur les corps en mouvement.

SECTION INDUSTRIELLE

Les transformateurs de mesure : leur emploi, leur construction

Les transformateurs d'intensité et de potentiel étant d'un emploi extrêmement répandu dans toutes les installations électriques, il nous a semblé intéressant de résumer quelques considérations relatives à leurs conditions d'emploi et à leur mode de fabrication.

I. Généralités. — On emploie les transformateurs d'intensité dans deux cas différents :

1° Lorsque l'on a à manipuler, soit pour leur mesure, soit pour leur contrôle, (relais, appareils automatiques, disjoncteurs, etc.) de très fortes intensités de façon à éviter de ramener des connexions très coûteuses jusqu'au tableau de distribution et à pouvoir unifier les types d'appareils de mesure ou de relais, qui sont alors tous du même calibre et munis d'échelles fictives correspondant aux rapports de transformation des différents circuits.

2° Lorsque les courants que l'on a à manipuler sont à haute tension, et par conséquent dangereux et même mortels pour l'opérateur.

Les transformateurs de tension s'emploient uniquement lorsque la tension est trop élevée; ils permettent également, chose très intéressante, l'unification des calibres d'appareils de mesure, qui sont aussi munis d'échelles fictives.

Nous nous occuperons, tout d'abord, des transformateurs d'intensité et examinerons quelles sont les qualités que l'on est en droit de leur demander.

PRÉCISION DANS LE RAPPORT. — Ces transformateurs devant alimenter des appareils de mesure, il est évident que l'exactitude du rapport de transformation est primordiale et cette exactitude doit se maintenir pour toutes les charges; pratiquement on construit des transformateurs dont l'erreur de proportionnalité est moindre que ± 1 pour 100 pour toute l'étendue de l'échelle de la pleine charge au cinquième de la charge pour des puissances demandées de 20 à 25 v-A, c'est-à-dire le secondaire branché sur une résistance de 0,25 ohm pour un appareil avec secondaire à 10 A, ce qui correspond généralement au cas le plus défavorable que l'on puisse rencontrer dans un tableau de centrale importante. Dans l'établissement d'un projet, il ne faut pas négliger de tenir compte également de la perte de charge dans les câbles; si le tableau de contrôle est loin des circuits, elle peut être très importante, et nous connaissons quelques installations où des erreurs assez sensibles ont été introduites de ce fait.

FAIBLE DÉPHASAGE. — Cette condition a également une grande importance dans les cas où le transformateur alimente des compteurs ou des wattmètres; toutefois il ne faut pas exagérer la chose et, sauf le cas où l'on atteint ou dépasse 4 ou 5 degrés, les erreurs introduites sont inappréciables avec des appareils industriels, car elles sont de l'ordre de grandeur de l'erreur propre de ces appareils, surtout dans le cas où un transformateur de potentiel est également employé; en effet, son erreur se tranche alors de celle du transformateur d'intensité.

Sans vouloir imposer à nos lecteurs des développements mathématiques fastidieux, nous croyons utile de résumer ci-dessous des résultats de calculs pour deux cas différents et nettement désavantageux, inférieurs en tous cas aux transformateurs les plus mauvais que l'on trouve dans le commerce; le lecteur pourra suivre aisément la marche du calcul sur les deux diagrammes de la figure 1.

1° Cas d'un transformateur d'intensité de rapport 10/10 et ayant un déphasage δ de 10° ; la tension du circuit est de 10 v; il n'y a pas de transformateur de potentiel (les chiffres ci-dessus ont été choisis intentionnellement pour faciliter les calculs). Le déphasage entre la tension et l'intensité primaire est de 40° .

La puissance réelle de ce circuit est

$$P = EI \cos \varphi = 76,6 \text{ w,}$$

valeurs qui peuvent se vérifier par la mesure directe sur le diagramme vectoriel.

La puissance mesurée est

$$P' = EI \cos \delta \cos (\varphi + \delta) = 63,35 \text{ w,}$$

ce qui peut également se vérifier par la mesure directe sur le diagramme vectoriel.

L'erreur en centièmes est donc égale à

$$\frac{P - P'}{P} \times 100 = \frac{76,6 - 63,35}{76,6} \times 100 = 17,3 \text{ pour } 100,$$

ce qui est évidemment considérable; mais il ne faut

pas oublier que ce déphasage de 10° est absolument anormal et correspondrait à un appareil très défectueux.

2° Cas d'un transformateur d'intensité de rapport 10/10 et ayant un déphasage δ de 10° , avec un transformateur de potentiel de rapport 10/10 et ayant un déphasage de 20° . Le déphasage entre l'intensité et la tension primaires est de 40° .

Comme dans le premier cas, la puissance réelle est :

$$P = EI \cos \varphi = 76,6 \text{ w},$$

et la puissance mesurée devient :

$$P' = EI \cos \varepsilon \cos \delta \cos (\varphi + \delta - \varepsilon) = 80,2 \text{ w},$$

et l'erreur en centièmes n'est plus, dans ce cas, que

$$\frac{P' - P}{P} \times 100 = \frac{80,2 - 76,6}{76,6} \times 100 = 4,7 \text{ pour } 100,$$

ce qui est déjà beaucoup moins important et il s'agit, nous le répétons, de chiffres qui correspondraient à des appareils franchement mauvais.

Si nous appliquons ce même calcul au cas où, les transformateurs d'intensité et de potentiel ont chacun 2° de déphasage et où le déphasage entre l'intensité et la tension primaires est de 45° , l'erreur maximum est de 0,2 pour 100.

On peut donc en conclure que des transformateurs dont le déphasage ne dépasse pas 2° dans les condi-

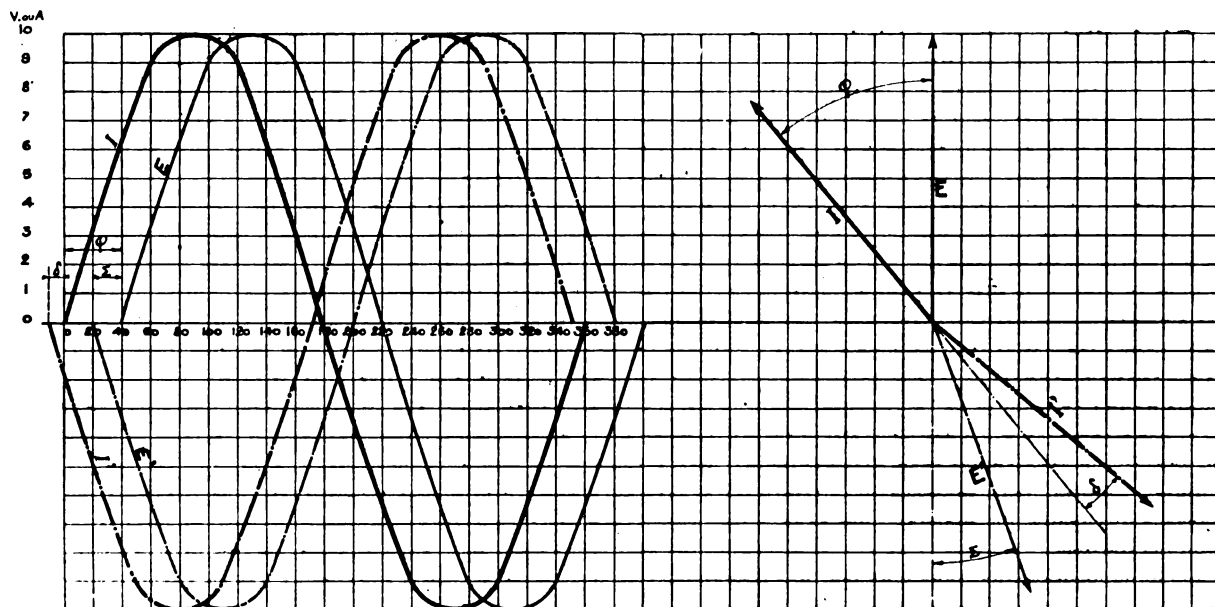


Fig. 1. — Diagramme des courants et des tensions pour un transformateur d'intensité et un transformateur de potentiel.

tions les plus défavorables donneront des erreurs inférieures à celles des appareils de mesure eux-mêmes.

VALEURS D'ISOLEMENT ÉLEVÉES. — Pour ceux de ces appareils qui sont destinés à être montés sur des circuits à haute tension, les conditions d'isolement sont également très importantes.

En effet, ainsi que nous l'avons dit au début de cet article, ces appareils sont employés en très grand nombre dans toutes les installations et, si leur isolement est insuffisant, ils constituent autant de points faibles pouvant occasionner à l'exploitant de multiples ennuis.

Or, il est impossible d'éviter les claquages d'une façon absolue ; aucun constructeur ne peut garantir qu'un appareil sortant de ses ateliers, si parfaite que soit sa fabrication, ne subira jamais un accident de rupture de diélectrique ; aucun essai, si sévère soit-il,

ne peut en préserver d'une façon certaine : c'est donc un inconvénient dont il faut prendre son parti et avec lequel il faut vivre en tâchant de le réduire au minimum.

Nous pensons que ces accidents pourraient être évités dans bien des cas si les clients avaient soin d'imposer à leurs fournisseurs des conditions d'essais suffisamment rigoureuses, ce qui serait tout avantage pour les constructeurs sérieux, car cela les mettrait tous à égalité et leur éviterait d'avoir à pousser la limite d'emploi de leurs appareils pour lutter contre la concurrence.

En dehors de ces trois conditions essentielles, il en existe un certain nombre d'autres qui, bien que secondaires, ne sont pas néanmoins à négliger ; parmi celles-ci, on peut citer la réduction de l'encombrement, la facilité d'installation et d'entretien qui dans le montage d'un grand tableau jouent un rôle de premier ordre.

Maintenant que nous avons vu les qualités essentielles que l'on doit exiger d'un bon transformateur d'intensité, nous allons examiner pour chacune d'elles quels sont les moyens à employer pour les obtenir.

II. Précision dans le rapport de transformation. — Cette qualité est très difficile à obtenir pour toutes les charges ; une des conditions pour réussir est d'avoir des sections de fer convenables et de ne travailler qu'à très faible induction ; la disposition des enroulements, en réduisant la longueur des spires, a également une grande importance sur la précision d'un appareil ; en résumé, on peut dire que seule une longue pratique dans la fabrication de ces appareils jointe à un souci constant d'amélioration peut venir à bout des difficultés que l'on rencontre ; nous donnons ci-dessous (fig. 2) des courbes d'erreur des transformateurs construits par la Métallurgie Électrique montrant le degré de perfection auquel on peut arriver dans cet ordre d'idée.

FAIBLE DÉPHASAGE. — Lorsque l'on veut réduire au minimum cette cause d'erreur, on se heurte à des difficultés considérables, car, alors, certaines des condi-

au minimum ; on y arrive par l'emploi de tôles de qualité supérieure ; la Métallurgie Électrique emploie des tôles auxquelles elle fait subir un traitement thermique



Fig. 3. — Vue extérieure d'un transformateur d'intensité ME, type bloc isolé pour 10000 v.

spécial, présentant des pertes extrêmement faibles et une perméabilité très élevée. Le circuit magnétique doit être pratiquement sans joint et le plus court possible ; enfin, les deux enroulements doivent être rap-

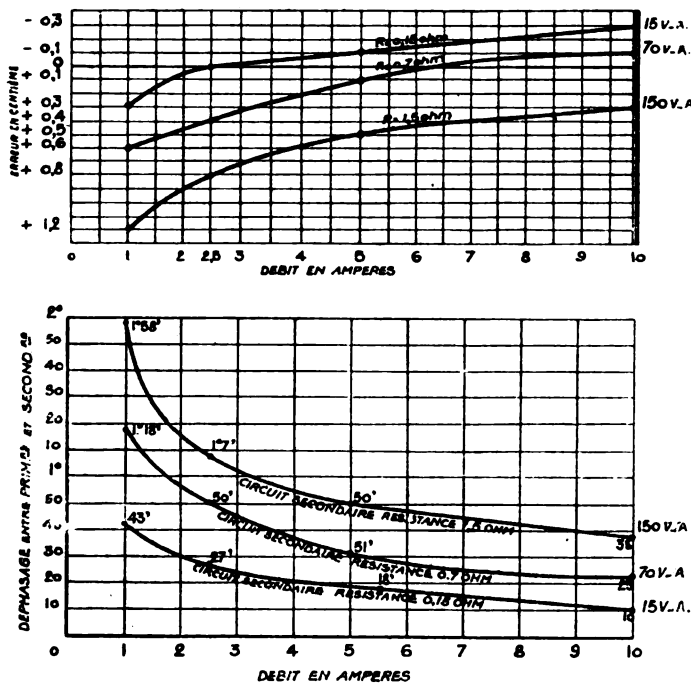


Fig. 2. — Courbes d'erreurs et courbes de déphasage d'un transformateur d'intensité de la Métallurgie Électrique. Essais effectués au Laboratoire central d'Electricité le 27 novembre 1918. certificat n° 23 878.

tions nécessaires sont incompatibles avec d'autres, celles d'isolement, par exemple.

Pour arriver à un bon résultat, il faut réduire la réluctance, les fuites et le coefficient de self-induction

prochés au maximum compatible avec un bon isolement et l'on se rend compte qu'aux tensions élevées cette dernière condition n'est pas la plus commode à réaliser.

Nous donnons ci-dessus (fig. 3 et 4), quelques vues

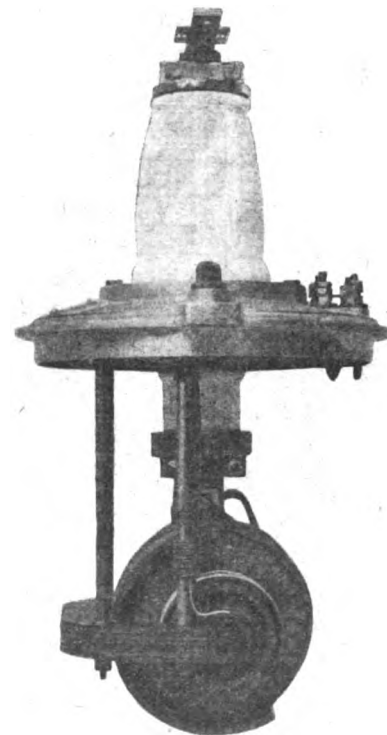


Fig. 4. — Vue intérieure d'un transformateur d'intensité ME, isolé à 15000 v.

montrant le montage des enroulements et des circuits magnétiques de transformateurs de la Métallurgique Électrique ainsi que des courbes de déphasage (fig. 2) montrant le degré de précision auquel cette société est parvenue.

VALEURS D'ISOLEMENT ÉLEVÉES. — L'emploi des différents isolants qui doivent entrer dans la fabrication d'un transformateur doit faire l'objet d'une étude très approfondie si l'on ne veut pas s'exposer à de sérieux mécomptes.

Jusqu'à 20 000 v, la Métallurgique Électrique a réalisé l'isolement entre haute et basse tension au moyen de tubes en isocarta ; jusqu'à 15 000 v, elle possède deux séries de transformateurs, les uns sont noyés dans un isolant spécial, moulé à très forte pression et à température élevée ; les autres sont dans l'huile ; sans vouloir prendre partie pour l'un ou l'autre système, nous dirons que les accidents dans le cas d'isolant moulé sont beaucoup moins graves que dans le cas d'huile, car ils ne risquent pas de causer un incendie comme ces derniers. La photographie de

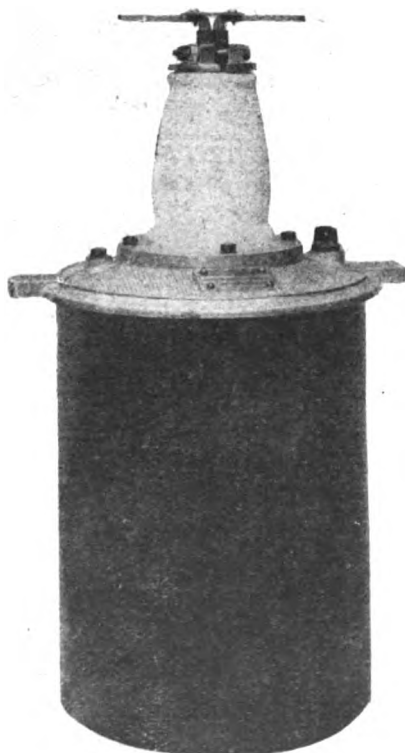


Fig. 5. — Vue extérieure d'un transformateur d'intensité ME, isolé pour 15 000 v.

la figure 5 représente un transformateur d'intensité pour 15 000 v.

A partir de 30 000 v, il a semblé opportun d'adopter une autre disposition dans laquelle les enroulements

sont constitués par deux tores se pénétrant dans des plans à 90°.

En effet, bien qu'à première vue cette disposition semble augmenter le coefficient de dispersion du transformateur, un examen plus approfondi de la question a montré qu'il n'en était rien et les résultats d'essai ont confirmé les prévisions, car, si, d'une part, on augmente un peu la distance entre enroulements haute et basse tension, on réduit, d'autre part, un peu la longueur du circuit magnétique ; l'un compense l'autre et l'on y gagne en sécurité.

Ce qui allonge le circuit magnétique dans la disposition classique où les enroulements sont isolés par un tube c'est la nécessité d'éviter l'arc de surface le long de ce tube ; or, si le tube n'est pas très épais, la longueur d'arc peut être considérable, car cette longueur est une fonction de l'épaisseur du tube, ou plutôt de sa qualité et de sa tension de perforation ; ainsi, par exemple, un arc qui, à 50 000 v, aura une longueur de 40 mm le long d'un tube dont la tension de perforation sera de 70 000 v, pourra n'avoir plus que 30 mm si la tension de perforation est de 110 000 v et 20 mm, si elle est de 190 000 v ; évidemment les chiffres que nous donnons là n'ont aucune valeur réelle, ils sont simplement destinés à donner une idée du phénomène. Des essais très complets auxquels nous nous sommes livrés nous ont conduits à toute une série de courbes du genre de celles représentées en figure 6. Avec le dis-

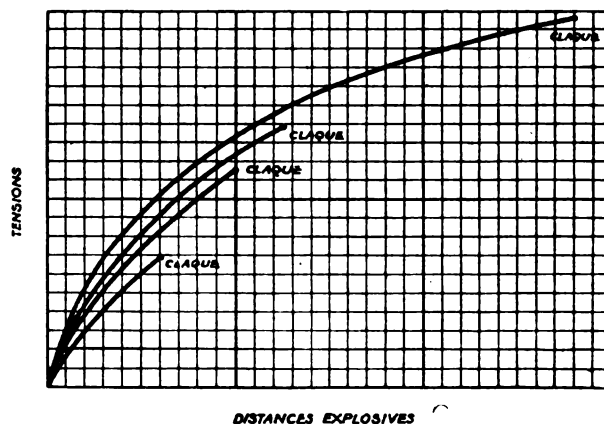


Fig. 6. — Courbes des longueurs d'arcs de surface le long d'un tube dans l'huile en fonction de la tension de perforation de ce tube. Le diélectrique travaillant également en épaisseur.

positif des deux tores à 90°, il n'y a aucun danger d'arc de surface ; il faut, de toute nécessité, qu'il y ait rupture diélectrique de l'huile interposée comme écran entre les enroulements ; cette solution donne donc toute satisfaction.

A remarquer que le maintien mécanique de l'enroulement n'y perd rien puisqu'il est fait sur une couronne ayant une section en U et solidement maintenue par deux isolateurs ; d'ailleurs, les actions électrodynamiques ne peuvent avoir d'influence désastreuse que

dans les enroulements où les bobines haute et basse tension sont alternées, car elles subissent entre elles dans le sens latéral des efforts de répulsion qui, au moment d'un court-circuit, peuvent être considérables et compromettre la solidité de l'ensemble. Dans le cas de transformateurs à bobines concentriques, ces actions s'exercent transversalement suivant un rayon et, par cela même, les bobines sont beaucoup mieux disposées pour y résister.

Nous donnons ci-contre (fig. 7 et 8) quelques photographies de détail de transformateurs d'intensité de la

exemple, on supprime la bobine primaire que l'on remplace par un des conducteurs du circuit, conducteur sur lequel le transformateur se trouve enfilé; celui-ci prend donc la forme d'un tore constitué par des rondelles de tôle magnétique sans joints, empilées les unes sur les autres et sur lesquelles est fait l'enroulement secondaire; il est très important que celui-ci soit bobiné très régulièrement sur le circuit magnétique, de même qu'il est également important que le diamètre du tore soit le plus petit possible, proportionné aux dimensions du conducteur si l'on ne veut pas avoir de déphasage important et, par suite, des erreurs incompatibles avec l'alimentation des compteurs ou des wattmètres. On a tracé sur la figure 9 les courbes d'erreurs et de déphasage relevées sur un transformateur tore du genre de celui que nous venons de décrire.

Au sujet du montage de ce genre d'appareils, nous

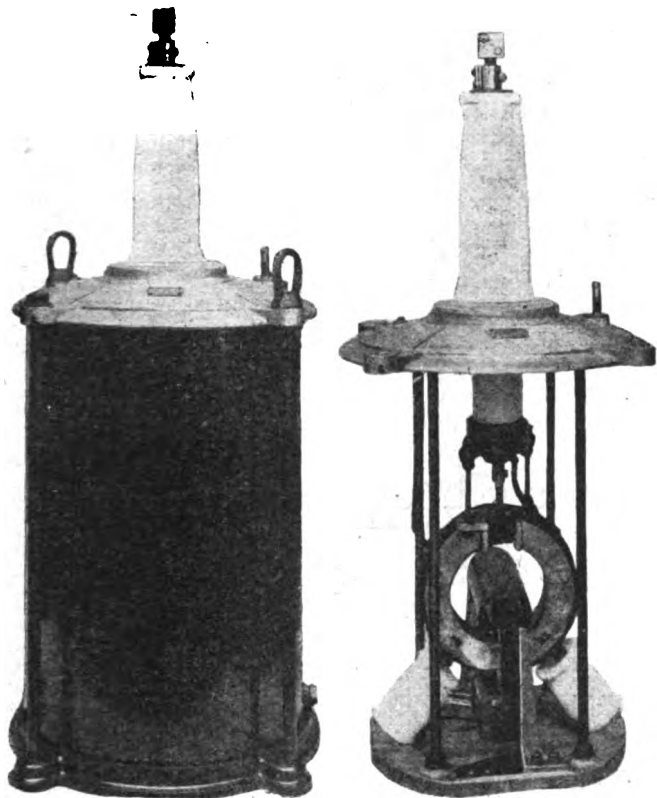


Fig. 7. Vue extérieure, d'un transformateur d'intensité ME type monobloc pour montage sur barre. — Fig. 8 Vue intérieure d'un transformateur d'intensité ME, isolé pour 60 000 V.

Métallurgie Électrique, montrant bien nettement cette conception particulière et originale de l'enroulement, conception qui a permis de réduire le déchet aux essais à un pourcentage absolument infime. De même, dans ces transformateurs, l'isolement des bornes d'entrée est particulièrement soigné; les conducteurs sont toujours enfermés dans un tube en isocarta suffisant pour tenir à lui seul la tension du réseau avec 25 pour 100 de sécurité et l'intervalle restant libre à l'intérieur de la porcelaine est rempli de vulcose; on a donc de ce fait une triple sécurité.

Lorsque les intensités primaires atteignent des valeurs très élevées, plusieurs milliers d'ampères par

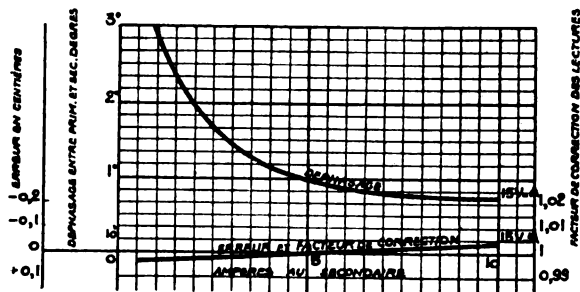


Fig. 9. — Courbes d'erreur et de déphasage d'un transformateur tore de la Métallurgie électrique, isolé pour 1500 V, intensité 2 000/10. Essais faits au Laboratoire central d'Electricité le 10 décembre 1920, certificat n° 25988.

avons constaté que, dans beaucoup de modèles de transformateurs tore, on ne s'était nullement inquiété du moyen de fixation sur les barres; à ce point de vue, les modèles de la Métallurgie Électrique nous paraissent très intéressants; ils comprennent cinq

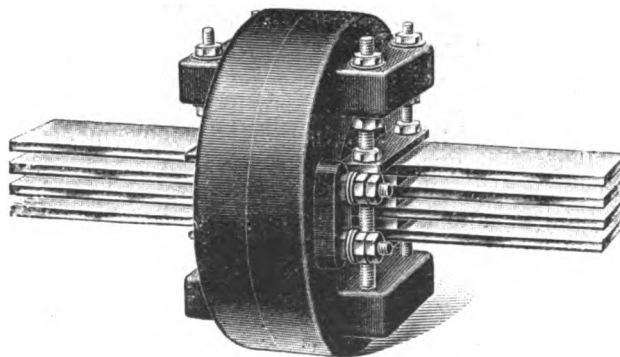


Fig. 10. Vue d'un transformateur tore ME montrant le dispositif de fixation sur le conducteur.

tailles différentes permettant de les ajuster facilement aux dimensions des barres de la distribution; le circuit magnétique et l'enroulement secondaire sont noyés

dans l'isolant moulé assurant une solide fixation mécanique; cet isolant moulé porte 4 bossages percés chacun de 2 trous par lesquels passent 2 tiges munies de plaquettes et de boulons de serrage permettant d'immobiliser l'appareil sur les barres dans une position bien déterminée. Les photographies des figures 10 et 11 permettent de se rendre compte des facilités de montage de ce type de transformateur.

Nous pensons avoir passé en revue les points particuliers de la construction des transformateurs d'intensité, il nous reste quelques mots à dire sur leurs conditions d'emploi.

III. Conditions d'emploi des transformateurs d'intensité. — Dans le choix d'un transformateur d'intensité pour une installation déterminée, il y a lieu, tout d'abord, de considérer la tension normale d'emploi de façon à faire choix de l'appareil convenable; à ce sujet, dans une installation triphasée, nous conseillons toujours de se baser sur la tension entre phases

et neutre, car il est toujours possible d'avoir accidentellement cette tension entre une phase et une charpente, par exemple; de même, on doit toujours considérer les conditions locales, fréquence des surtensions, absence ou présence des limiteurs et, suivant le cas, prendre des coefficients de sécurité plus ou moins élevés.

Un autre point sur lequel il est bon de porter son attention, si l'on ne veut pas avoir d'appareils qui risquent de chauffer, est celui de leur calibre normal, calibre qui doit être déterminé par la puissance du circuit sur lequel ils sont appelés à fonctionner; mais, dans la considération de cette puissance, il y a lieu de tenir compte qu'elle n'est généralement pas constante; or, c'est uniquement la puissance moyenne qui doit déterminer ce calibre, à condition toutefois que cette moyenne ait été déterminée pendant la période des débits maxima et qu'aucune pointe n'ait une durée suffisante pour que l'énergie supplémentaire débitée pendant cette période soit supérieure à 5 pour 100 de

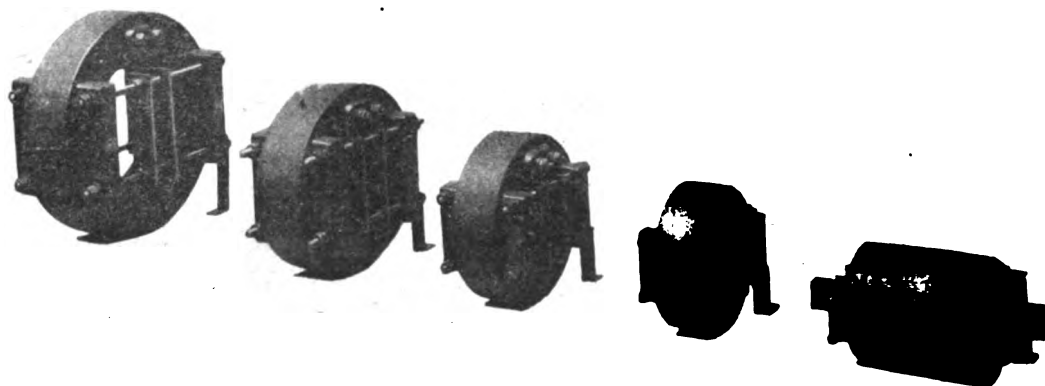


Fig. 11. — La gamme des transformateurs tore de la Métallurgique Électrique.

l'énergie horaire moyenne; ce qui peut s'exprimer par l'inégalité

$$W_t \leq \frac{5}{100} W_h$$

W_t étant l'énergie supplémentaire correspondant à une surcharge et W_h , l'énergie horaire moyenne.

Il s'ensuit que, pour une surcharge de très courte durée, la valeur admissible pourrait être considérable; il serait bon de la limiter à 100 pour 100 et de ne l'appliquer que pendant un temps t exprimé par la formule

$$t = \frac{5 \times W \times 60}{100 \times w}$$

W étant la puissance moyenne et w , la puissance supplémentaire correspondant à une surcharge.

Dans le cas qui nous occupe, $W = w$ et la formule devient

$$t = \frac{5 \times 60}{100} = 3 \text{ minutes.}$$

Pour illustrer notre explication, nous allons l'appliquer au diagramme ci-contre (fig. 12); si nous prenons l'intensité maximum représentée par la pointe E, elle sera évidemment trop forte; si nous prenons la moyenne générale représentée par la ligne A B, il est bien certain que dans la partie a b du graphique, partie qui correspond à la période des débits maxima, notre appareil sera surchargé et il chauffera; la moyenne doit donc être déterminée sur cette partie du graphique et elle conduit à la ligne C D, c'est donc cette dernière qui fixera le calibre à employer; lorsque cette valeur ne correspond pas à un type courant du constructeur, il faut employer la taille au-dessus. Si la pointe E avait eu une durée plus grande, telle que le tracé en pointillé par exemple, l'énergie supplémentaire débitée aurait été supérieure à 5 pour 100 de l'énergie horaire moyenne et il aurait fallu remonter la ligne C D en C'D'.

Evidemment, cette manière de procéder ne peut-être de mise que pour une installation existante sur laquelle on possède des données précises; dans le cas

contraire, il faut être large dans ses appréciations.

Le transformateur d'intensité fonctionnant dans des conditions très différentes du transformateur de potentiel, il faut absolument éviter de laisser le secondaire ouvert, car son primaire est toujours parcouru par le

courant total dont l'effet n'est plus contre-balancé par les ampères-tours antagonistes du circuit secondaire, et une tension anormale et même dangereuse peut prendre naissance dans ce dernier; il est également prudent de mettre la carcasse et même une borne secondaire à la

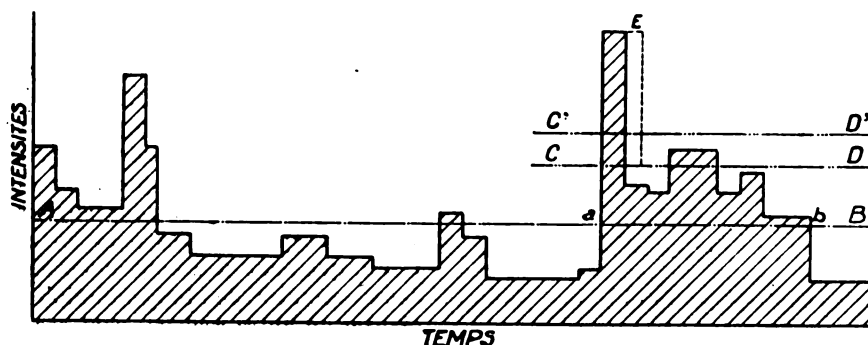


Fig. 12. — Diagramme des charges.

terre lorsque l'appareil fonctionne sur circuit haute tension; de cette façon, on met le personnel à l'abri d'un claquage possible du transformateur.

La figure 13 représente un transformateur du type « bloc »; ces appareils, grâce à l'isolant moulé dans

portance de cette question, de nous étendre un peu sur la description des caractéristiques de cet appareil.

Lorsque des relais temporisés sont placés en cascade sur un circuit de façon à assurer l'ouverture des disjoncteurs dans un ordre déterminé, la condition qui a été réalisée au réglage pour une intensité déterminée

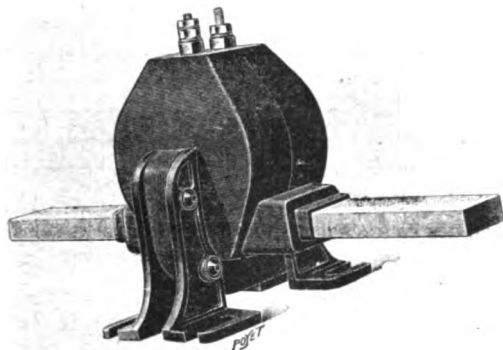


Fig. 13. — Vue extérieure d'un transformateur d'intensité ME, isolé pour 30 000 v.

lequel sont noyés les enroulements, résistent particulièrement bien aux effets dynamiques des courts-circuits.

Indépendamment des transformateurs d'intensité classiques destinés à l'alimentation des appareils de mesure et dans lesquels on recherche surtout la précision pour toutes les charges, il peut être nécessaire de réaliser des courbes spéciales et d'avoir un point de précision pour une valeur bien déterminée; en particulier, pour l'alimentation des relais de disjoncteurs destinés à fonctionner en cascade, la Métallurgique électrique construit un modèle de transformateur sélectif⁽¹⁾ (fig. 14) qui résout le problème d'une façon absolument parfaite; nous croyons utile, étant donnée l'im-

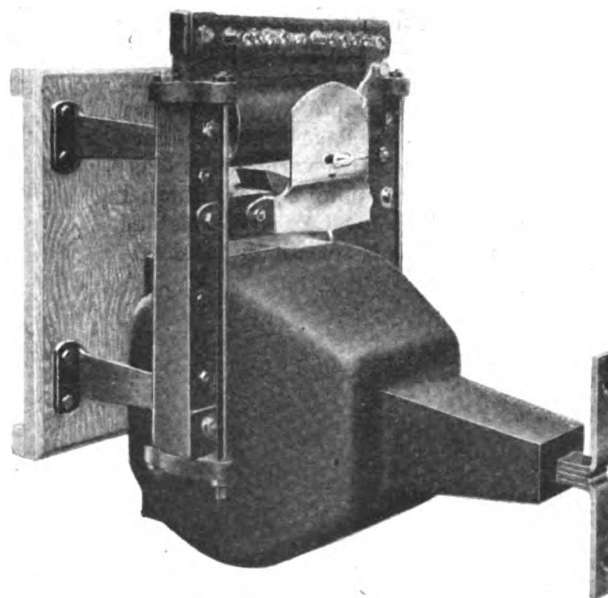


Fig. 14. — Vue d'un transformateur sélectif.

ne subsiste que pour des valeurs très voisines de cette intensité; les courbes de déclenchement de la plupart des relais ayant une allure très voisine de celle de la courbe de la figure 15, il s'ensuit que, pour une très violente surcharge ou un court-circuit, tous les disjoncteurs fonctionnent ensemble, même s'ils sont réglés pour des

(¹) Brevet n° 151 606, du 8 novembre 1921.

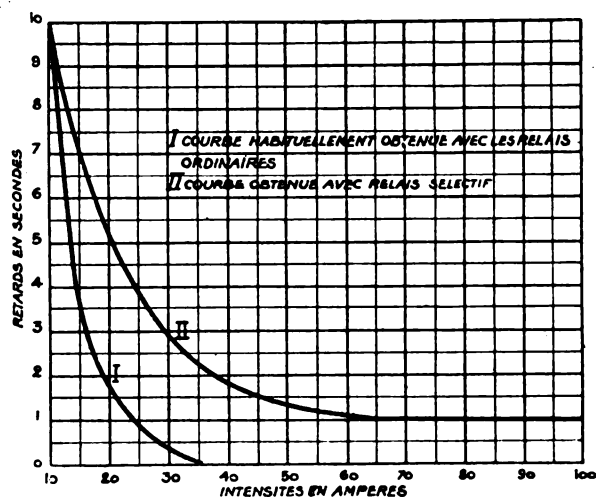


Fig. 15. — Courbes de temporisation des relais en fonction de la surcharge.

intensités différentes ; ce qui a parfois pour résultat déplorable d'arrêter tout un réseau, tandis qu'avec un fonctionnement en cascade l'arrêt pourrait être localisé au circuit avarié. Le transformateur sélectif de la Métallurgie électrique a été calculé de façon à donner une courbe des intensités secondaires en fonction des intensités primaires de la forme de la courbe II de la figure 15 ; ainsi qu'on peut s'en rendre compte, cette courbe devient assez rapidement asymptote ; de plus, un dispositif spécial de réglage du circuit magnétique permet de faire varier dans d'assez grandes limites le point à partir duquel elle devient asymptote ; Ce transformateur combiné avec le relais sélectif de la Métal-

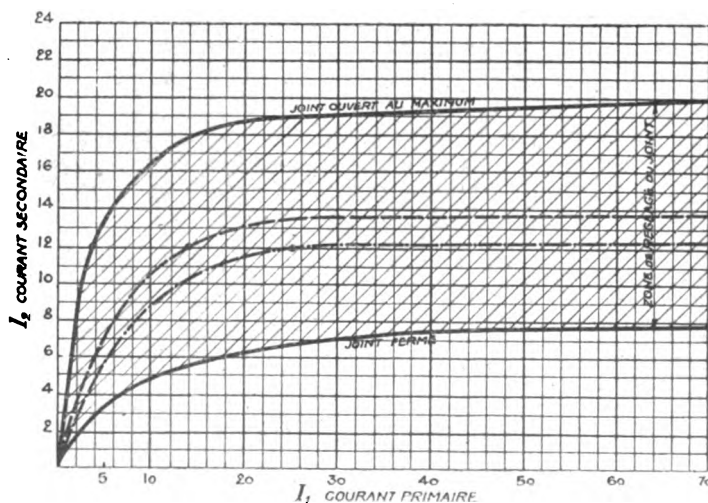


Fig. 16. — Courbe du courant secondaire en fonction du courant primaire dans le transformateur sélectif en fonction de l'ouverture du joint.

lurgique électrique donne des courbes de temporisation de la forme de celles des figures 16 à 18.

On se rend compte qu'en combinant judicieusement l'emploi du relais et du transformateur sélectif, on peut obtenir des familles de courbes variant à l'infini.

Ainsi, par exemple, en ne nous servant que de la courbe du relais représenté sur la figure 17, si nous employons le transformateur avec son joint ouvert au maximum, nous déclenchons en sept secondes pour un courant primaire de 3,8 A et nous avons encore une seconde de temporisation pour 70 A ; si, au contraire, nous prenons une position intermédiaire du joint du transformateur, celle figurée par le tracé en pointillé (fig. 16) par exemple, nous voyons que nous déclenchons en sept secondes pour un courant primaire de 14 A et que pour 70 A nous avons encore un peu plus de deux secondes de temporisation ; si nous voulions réaliser un autre réglage, sept secondes par exemple, pour 25 A primaires, il nous suffirait de chercher dans la zone des rapports de transformation le point correspondant à 25 A primaires pour 12 A secondaires (puisque'il faut 12 A dans la bobine du relais pour avoir le déclenchement en sept secondes) et, par ce point, nous

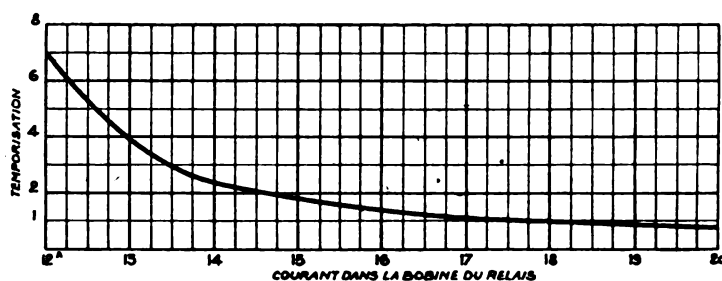


Fig. 17. — Une des courbes de temporisation du relais sélectif que l'on peut obtenir pour un des points de réglage.

aurions une autre courbe (tracée en trait mixte) et, à 70 A, nous aurions encore un peu plus de cinq secondes de temporisation.

Nous pouvons donc avec ce seul point de réglage du relais obtenir toute une famille de courbes de déclenchement ; avec chaque autre point de réglage, nous pouvons obtenir une nouvelle famille de courbes ; on voit donc, par ce bref exposé, toute la fécondité du système et les multiples avantages que l'on peut en tirer.

Par l'emploi de ces appareils, en étudiant soigneusement les conditions de fonctionnement d'un réseau, il est possible de réaliser d'une façon pratique et sûre le fonctionnement en cascade de tous les disjoncteurs installés.

Cette solution offre l'avantage de limiter les perturbations causées par les déclenchements des appareils et permet également,

dans certains cas, une économie appréciable d'appareil

doivent faire l'objet d'un isolement tout particulièrement soigné, afin de les mettre à même de résister aux surtensions à haute fréquence et aux ondes à front raide auxquelles elles donnent naissance et qui, par suite de la self-induction considérable du circuit, amènent les premières spires à des différences de potentiel élevées et causent leur claquage si l'isolement n'est pas suffisant.

En figure 19 nous donnons les courbes d'erreur montrant le degré de précision que l'on peut atteindre dans les transformateurs de potentiel.

Contrairement aux transformateurs d'intensité, les bornes secondaires ne doivent jamais être

reillage en évitant de placer sur un poste un disjoncteur capable de couper la puissance de toute la centrale qui se trouve derrière lui; il suffit qu'il ait une puissance en rapport avec l'installation qu'il protège et qu'il soit muni d'un transformateur et d'un relais sélectif qui donne par exemple une temporisation de 3 s pour les valeurs d'intensité supérieures à celles qu'il peut normalement couper et, que les disjoncteurs de la centrale soient réglés pour ne pas déclencher pour les valeurs inférieures et n'avoir qu'une temporisation d'une seconde pour la valeur critique que le disjoncteur du poste ne pourrait couper sans danger.

IV. Transformateurs de potentiel. — Les transformateurs de potentiel n'offrent, pour leur part, rien de bien particulier dans leur conception; ce sont des transformateurs de très petite puissance dans lesquels l'exactitude du rapport doit être maintenue aussi grande que possible, et le déphasage très faible du même ordre de grandeur que pour les transformateurs d'intensité.

Une des grandes difficultés est l'emploi du fil très fin ayant un nombre de spires considérable. La conception et l'exécution du circuit magnétique a, comme pour les transformateurs d'intensité, une très grande importance; on doit d'abord travailler à faible induction; ensuite, avoir une réluctance très faible et pour cela réduire le plus possible l'effet des joints; ce n'est que par l'emploi de matériaux de choix et un contrôle très sévère de la fabrication que l'on peut y parvenir. Etant données les grandes différences de potentiel auxquelles l'enroulement haute tension est généralement soumis, il est nécessaire de le sectionner en galettes multiples soigneusement isolées entre elles; les galettes d'entrée à chaque extrémité de l'enrou-

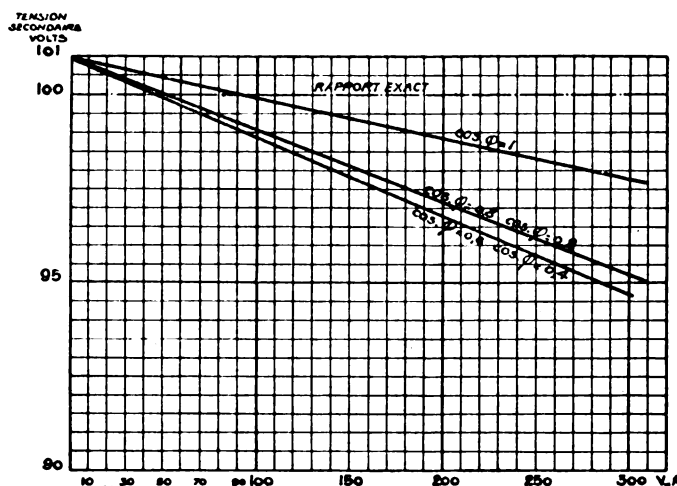


Fig. 19. — Courbe d'erreur d'un transformateur de potentiel ME de 30 000/110 V.

mis en court-circuit; mais il est prudent d'en mettre une à la terre ainsi que le bâti de l'appareil.

Nous pensons avoir décrit les points caractéristiques de la construction de ces appareils sans entrer dans les détails de fabrication qui sortiraient un peu du cadre de cet article; nous connaissons particulièrement les types que nous avons décrits et nous les avons choisis intentionnellement parce qu'ils nous paraissent répondre parfaitement à ce que l'on est en droit d'attendre d'eux.

V. CANDIE,

Chef du Service technique de la Société la Métallurgique Electrique.

L'interconnexion des petites usines électriques en vue de la meilleure utilisation des chutes d'eau

Dans cet article, l'auteur indique un procédé simple permettant de faire travailler en parallèle plusieurs petites usines génératrices en utilisant du courant continu sur la ligne de transmission et du courant alternatif dans chaque centre de distribution.

Introduction. — En 1918, nous basant sur un ancien procédé de Danielsen, dans le domaine public, nous avons indiqué ici-même ⁽¹⁾ un moyen pratique pour améliorer le facteur de puissance des moteurs asynchrones par injection de courant continu entre deux bagues du rotor en utilisant des appareils d'usage courant (petite excitatrice, addition d'une borne au démarreur, etc.).

Nous avons eu bien soin de faire remarquer à l'époque que les moteurs de construction courante pouvaient bien marcher à vide ou à faible charge avec un facteur de puissance égal à l'unité en utilisant ce système, mais que, pour que ce procédé fût parfait, il était nécessaire de prévoir une construction spéciale des machines (*R. G. E.*, 5 juin 1919, p. 831 au bas).

Nous avons eu le plaisir de constater récemment que nos indications ont été suivies et que deux grandes maisons de construction s'inspirant de nos données (la comparaison de leurs schémas avec celui que nous avons indiqué en 1919 ne laisse aucun doute à ce sujet) ont pu réaliser, deux ans après, des moteurs asynchrones synchronisés ne se décrochant pas en charge grâce à une modification de leur bobinage intérieur.

Le but que nous poursuivons aujourd'hui en donnant un moyen pratique d'utiliser les petites chutes d'eau, en série sur la même rivière par exemple, est le même: c'est de montrer comment on peut permettre à plusieurs petites usines de se prêter secours sans avoir recours pour cela à un matériel compliqué.

Aucun brevet n'étant pris sur l'ensemble du procédé que nous allons indiquer, chacun pourra le modifier à sa guise ou l'utiliser tel que et en tirer tel parti qu'il voudra, car, ici encore, nous n'avons en vue que l'intérêt général.

Exposé de la question. — On rencontre en France de nombreuses rivières sur le cours desquelles sont installés depuis longtemps une série de moulins; dans la Seine-Inférieure notamment, il n'est pas rare de rencontrer cinq à six moulins sur un parcours n'excédant pas 10 km, moulins qui forment autant de petites usines autonomes, incapables le plus souvent de se prêter secours.

Dans ces conditions, comment arriver à leur permettre de se donner une aide mutuelle efficace, pendant les périodes de sécheresse notamment, sans matériel spécial et sans manœuvres difficiles?

⁽¹⁾ *R. G. E.*, 5 avril 1919, t. v. p. 505 et 831.

Il est évident que la solution qui vient tout de suite à l'esprit consiste à relier les moulins par une ligne à deux fils sur laquelle des dynamos travaillent en parallèle. Il suffit d'une entente ou d'une convention entre les propriétaires des moulins pour que, au moment des basses eaux, lorsque la puissance de chaque unité est insuffisante, l'un des moulins travaille seul à moudre son blé tandis que les autres lui viennent en aide en lui envoyant du courant par leur dynamo actionnée seule par la turbine ou la roue.

Or, pour n'avoir pas une perte de charge trop grande sur un parcours de 7 à 8 km, il faut prendre une tension d'au moins 500 v si ce n'est plus et, comme les moulins sont éclairés électriquement, cet éclairage n'est plus possible qu'à l'aide de lampes montées par 4 ou 5 en série, ce qui n'est pas toujours d'un emploi pratique.

Reste la solution donnée par les courants alternatifs, solution des grands réseaux, mais ici tout se complique du fait de la présence des alternateurs qu'il faut coupler, dont il faut régler le facteur de puissance, choses difficiles à faire comprendre à un meunier; de plus, en cas d'à-coups, il peut y avoir des décrochages et alors rien ne va plus. Pour y obvier il y a bien la solution, employée en Suisse, de l'alternateur « chef d'orchestre » et des alternateurs asynchrones marchant en parallèle avec lui, mais il ne faut pas perdre de vue que ces alternateurs fonctionnent le plus souvent avec un mauvais facteur de puissance, ce qui diminue l'économie du système.

Réalisation. — Après quelques essais, la solution que nous avons adoptée dans un cas de ce genre pour lequel nous fûmes consulté est la suivante (fig. 1): les moulins sont reliés par une ligne à deux fils et, dans chacun d'eux, une dynamo shunt pouvant donner 500 à 600 v peut être mise sur la ligne.

Ces machines travaillent ainsi aisément en parallèle et par le jeu des excitations peuvent devenir génératrices ou réceptrices, avec un facteur de puissance toujours égal à 1 puisqu'il s'agit de courant continu: la ligne est donc bien utilisée. Au contraire, l'éclairage du moulin et des fermes voisines est réalisé par du courant alternatif provenant de deux bagues montées sur l'arbre de la dynamo et reliées à deux points de l'induit. Un autotransformateur ramène la tension de $\frac{500}{\sqrt{2}}$ à 110 v pour l'éclairage, d'où l'avantage de marcher à une ten-

sion très normale pour les lampes tout en ayant un facteur de puissance voisin de l'unité. On évite ainsi l'emploi de lampes en série, qui ont le gros inconvénient de s'éteindre toutes dès que l'une d'elles est brûlée. Reste la question des moteurs dont la présence dans les fermes devient de plus en plus intéressante pour la commande des hache-paille, des batteuses, etc. On ne

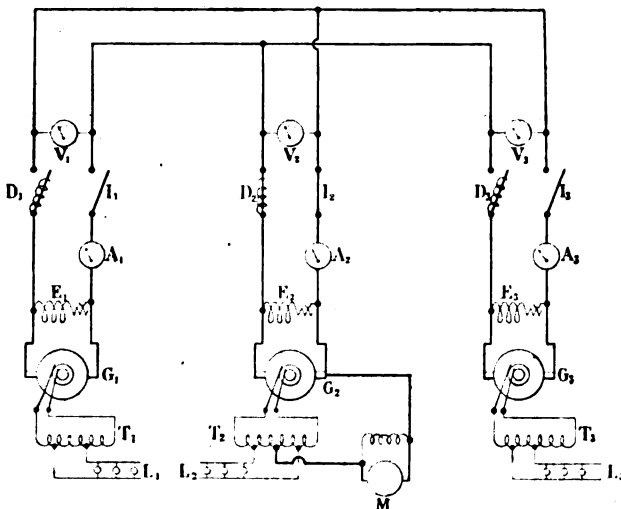


Fig. 1.

V_1, V_2, V_3 , voltmètres de couplage; D_1, D_2, D_3 , disjoncteurs automatiques à maxima retardés; I_1, I_2, I_3 , interrupteurs principaux; A_1, A_2, A_3 , ampèremètres indiquant le courant sur chaque machine; G_1, G_2, G_3 , génératrices polymorphiques; E_1, E_2, E_3 , excitation des machines; T_1, T_2, T_3 , auto-transformateurs pour l'éclairage intérieur; L_1, L_2, L_3 , circuits d'éclairage; M , électromoteur à tension réduite.

pouvait prévoir des moteurs à 500 v, très coûteux, et quelquefois impossibles à établir pour de petites puissances; nous avons tourné la difficulté en prenant des moteurs à courant continu à 250 v et en les branchant entre un des fils de ligne et un fil dit « neutre » allant aboutir au point milieu de l'auto-transformateur

d'éclairage. Cette disposition (qui rappelle l'ancien procédé de distribution à trois fils à l'aide d'une dynamo et d'une bobine de self-induction) est excellente, les moteurs fonctionnant aussi bien que s'ils étaient reliés à une canalisation à 250 v prise sur les balais d'une dynamo.

On bénéficie en somme des avantages du courant continu: simplicité de marche et économie d'exploitation, tout en permettant de réaliser l'installation avec du matériel usuel. Seules les dynamos doivent être munies de deux bagues, mais c'est chose facile à obtenir aujourd'hui, presque tous les constructeurs ayant établi des commutatrices.

Il est assez curieux, toutefois, de remarquer que cette solution est exactement l'inverse de celle des grands réseaux de traction, qui transmettent sur leurs lignes des courants alternatifs, transformés en continu dans les centres d'utilisation.

Ne perdons pas de vue, cependant, que la solution n'est intéressante que pour de petites usines hydroélectriques distantes entre elles de 1 à 3 km, les plus éloignées pouvant être à 10 km au plus. Au delà, c'est bien entendu la solution classique par courants triphasés à haute tension qu'il conviendra d'adopter, car on rentre alors dans le cas général.

Ce problème s'est posé avec toute son acuité l'été dernier, alors que la sécheresse avait diminué le débit de bien des cours d'eau, à tel point que certains propriétaires de petites usines ont cherché dans l'adjonction d'un moteur à gaz pauvre le secours dont ils avaient besoin, secours que pouvait leur donner bien plus économiquement l'usine voisine grâce à une liaison électrique et avec une entente sur les heures de travail.

Sans mépriser les solutions classiques, nous estimons que bien des cas peuvent trouver des solutions heureuses avec des procédés tout différents voire même opposés.

Alfred SOULIER,
Ingénieur-électricien

Note sur la marche en parallèle de plusieurs usines de puissance différente

Lorsque plusieurs usines ou machines, de puissance différente, travaillent en parallèle sur un même réseau, il faut prévoir, pour n-1 d'entre elles, des régulateurs de puissance, tandis que la dernière qui est chargée de soutenir les pointes sera munie d'un régulateur de tension; c'est la solution adoptée quand les machines ou usines sont groupées. L'auteur discute le même problème dans le cas où les usines sont échelonnées sur un long parcours et il arrive à cette conclusion qu'on assurera une bonne marche en parallèle de l'ensemble au moyen de trois organes de réglage: régulateurs de puissance, régulateurs de tension et régulateurs de pression.

Lorsque plusieurs usines centrales $U_1, U_2 \dots$ (fig. 1), de puissance différente marchent en parallèle sur un réseau commun $F_1, F_2, F_3 \dots$, il convient, pour éviter la circulation inutile de courants parasites dans ce réseau, de

fixer, pour ainsi dire à tout instant, la puissance que chacune des usines devra fournir audit réseau.

Cependant, comme il n'existe pas de réseau pour lequel la charge soit constante et que cette charge varie

dans des limites assez étendues, il conviendra de fixer également et d'un commun accord, quelle est celle de toutes les centrales participantes qui devra fournir l'appoint sur la charge moyenne.

En d'autres termes, si P est la charge moyenne du réseau comptée sur une période de vingt-quatre heures

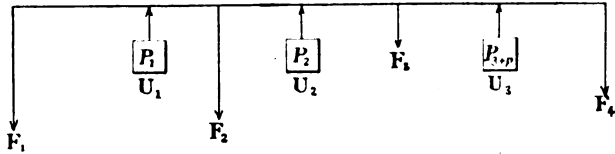


Fig. 1. — U_1, U_2, U_3 , usines centrales; $P_1, P_2, P_3 + p$, puissances débitées; F_1, F_2, F_3, F_4 , feeders principaux.

et si K est la charge instantanée totale du réseau, on aura

$$P = K \pm p,$$

p étant un nombre de kilowatts toujours positif; en outre, si P_1, P_2, P_{n-1}, P_n sont les puissances attribuées aux usines $U_1, U_2 \dots U_{n-1}, U_n$, on aura à tout instant

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = P,$$

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n \mp p = K.$$

Comment pourrions-nous fixer P_1, P_2, \dots, P_n et comment le réglage se fera-t-il? Lorsqu'on met dans une même usine centrale deux machines en parallèle, on s'attache tout d'abord à égaliser les tensions des deux machines, puis leur vitesse et ce n'est que lorsque l'on a réalisé cette double égalité de la tension et de la vitesse qu'on procède au couplage.

Mais, dès que les machines sont couplées, même si ce sont des machines de même puissance, elles ne prendront pas forcément la même charge : celle-ci dépendra uniquement de l'état exact d'ouverture ou de fermeture de la soupape d'admission de vapeur; et l'on peut même imaginer que l'on fera marcher l'une des machines avec une admission de vapeur nulle et l'autre, avec une admission de vapeur maximum; la vitesse des deux machines ne sera pas influencée par cette façon d'opérer puisque leurs deux alternateurs sont liés par le synchronisme, mais l'un d'eux marchera en moteur synchrone et entraînera sa machine à vapeur : au lieu donc de donner des kilowatts au réseau, il lui en demandera.

En pratique, cette variation de répartition de charge entre deux ou plusieurs machines en parallèle s'obtient en faisant varier, à l'aide d'un contrepoids supplémentaire, les constantes du régulateur centrifuge des machines; on rend ainsi ce régulateur paresseux ou actif suivant les cas et l'admission de vapeur se fait alors plus ou moins.

Cependant, il y aura toujours l'une des machines de la centrale qui ne pourra être réglée de cette manière,

car elle devra absorber les pointes et il faudra que le régulateur de cette machine soit bien plus sensible que les régulateurs des autres machines; on pourrait même dire que cette machine étant la seule de la centrale qui doit débiter une puissance variable, seule, elle devrait être munie d'un régulateur actif, les régulateurs des autres machines étant calés (une fois le parallélisme réalisé) afin de leur permettre de débiter sur le réseau une puissance constante et fixée une fois pour toutes.

La machine munie d'un régulateur actif devra, par contre, être suivie de très près au point de vue tension, car elle subira tous les à-coups de charge du réseau et elle devra avoir, en général, un taux d'excitation assez fort pour que, sous l'effet d'une surcharge, sa tension ne tombe pas.

Cette tension qu'on pourra à volonté faire varier suivant les charges de la machine de pointe, servira donc de guide aux autres machines, de telle sorte que l'on peut dire que cette machine à régulation variable définira les deux constantes de notre réseau, tension et vitesse : c'est elle qui battra la mesure pour toutes les autres machines de la station centrale.

Nous savons d'ailleurs que ce problème s'est beaucoup simplifié actuellement par l'emploi des régulateurs de puissance et des régulateurs de tension absolument automatiques.

Les régulateurs de puissance sont des wattmètres à contact qui agissent sur le circuit du moteur (ou du solénoïde) de commande de la soupape d'admission de vapeur.

Les régulateurs de tension sont des wattmètres à contact qui agissent sur le circuit d'excitation des excitatrices des alternateurs qu'ils ont à commander.

Ainsi donc, si dans une même centrale ou à n machines, on devra munir ($n - 1$) machines de régulateurs de puissance et la $n^{\text{ième}}$ d'un régulateur de tension.

Qu'advient-il maintenant, si toutes les machines ne sont pas dans une même centrale, mais réparties dans des centrales différentes tout le long d'un réseau commun?

Ici un troisième facteur intervient, qui jusqu'ici n'avait pu être considéré : c'est la pression de vapeur p_1, p_2, \dots, p_n , des chaufferies de toutes les usines en parallèle U_1, U_2, \dots, U_n .

Si nous supposons fixées à l'aide de nos régulateurs de puissance les charges P_1, P_2, \dots, P_{n-1} que les $n - 1$ premières usines vont avoir à débiter et si les pressions de vapeur p_1, \dots, p_{n-1} sont les mêmes partout, chaque usine débitera bien la charge que lui aura assignée son régulateur de puissance, mais si l'une des pressions de vapeur vient à fléchir, l'usine correspondante ne fera plus sa puissance et c'est l'usine de pointe U_n qui devra y suppléer, celle-ci pourra supporter cette surcharge momentanée, parce que, étant usine de pointe, elle aura toujours une bonne pression aux chaudières, mais pendant un temps assez court; elle tendra à baisser de vitesse, tout en gardant la même tension grâce à son régulateur de tension automatique, et cette baisse de

vitesse provoquera sur l'ensemble du réseau une baisse générale de fréquence.

Tous les moteurs ralentiront, on s'en apercevra de suite et l'usine fautive pourra être rappelée à l'ordre téléphoniquement.

Si, au contraire, il y a excès de pression pour l'une des usines la fréquence tendra à augmenter à moins que les soupapes des chaudières soient bien réglées et alors aucune perturbation ne se produira. On voit ainsi que chaque usine pouvant avoir une charge bien définie, toutes les variations se reportant sur l'usine de pointe, il sera toujours facile de limiter le débit d'une usine donnée, suivant les nécessités commerciales.

Parmi toutes ces usines marchant en parallèle, l'usine de pointe sera la plus favorisée puisqu'elle aura tous les excédents à fournir; ceci lui imposera l'obligation de surveiller de très près sa chaudière, mais rien ne s'oppose à ce qu'on réalise une commande automatique de la vitesse des grilles de chaudières en commandant celles-ci par des moteurs à vitesse variable et agissant sur l'organe de régulation à l'aide d'un relais wattmétrique, tout comme pour les *régulateurs de puissance et les régulateurs de tension*.

On pourrait par exemple, munir les $(n-1)$ premières usines de manomètres à contact (donc influencés par la pression) commandant la vitesse des moteurs des grilles et la $n^{\text{ème}}$ d'un wattmètre supplémentaire (donc influencé par la puissance) à contact, pouvant commander aussi la vitesse des moteurs des grilles.

On réaliserait ainsi tout un ensemble de régulateurs de tension et de vitesse automatiques.

Quant à la longueur du réseau, elle intervient peu dans la question de répartition des charges, puisque, en général, on emploie des transformateurs élévateurs qui réduisent pratiquement cette longueur de réseau à une valeur insignifiante, la tension de distribution du réseau commun étant toujours calculée pour une perte générale de 5 pour 100 dans toutes les directions.

En résumé, on voit qu'on peut résoudre tous les problèmes qui se posent à l'occasion de la marche en parallèle de plusieurs usines à l'aide des trois organes de réglage suivants : *régulateurs de puissance, régulateurs de tension, régulateurs de pression*.

J. MATHIVET,

Ingénieur en chef des Mines de Nœux

Revue, analyses et informations

La propulsion électrique des navires ⁽¹⁾.

La plus grande partie de cet article est consacrée aux navires de commerce.

EXIGENCES GÉNÉRALES. — L'objet final d'un navire de commerce est de produire des bénéfices. A ce point de vue, les facteurs de sûreté de marche, d'économie, de poids, d'encombrement, de prix de revient, de manœuvre et d'entretien sont à considérer dans le matériel de propulsion. L'importance relative de ces facteurs varie suivant les divers navires, de sorte qu'il existe un domaine défini pour chacun des types de commande. On a donné dans de récents articles des comparaisons générales de ces types; le but de celui-ci est seulement d'analyser les principaux genres de matériel électrique de propulsion.

SÛRETÉ DE MARCHÉ. — L'absence de pièces en mouvement alternatif rend la marche des machines électriques aussi sûre qu'on peut le désirer, ainsi que le prouve d'ailleurs leur emploi universel sur terre. On peut presque dire que les avaries mécaniques n'existent pas dans les machines électriques. L'inconvénient le plus important de leur emploi sur mer est l'effet nuisible du sel et de l'humidité, mais on y obvie facilement par un isolement convenable.

ÉCONOMIE. — L'économie doit être considérée au point de vue du combustible, de l'eau, des lubrifiants et des fournitures. La turbine électrique et la turbine à engrenages sont très près l'une de l'autre sous ce rapport, quand on fait entrer tous ces facteurs en ligne de compte; il y a cependant un léger avantage en faveur de la turbine à engrenages. Une machine à pistons est évidemment moins économique, car elle ne peut utiliser la même expansion de la vapeur. Au point de vue de la consommation de combus-

tible, le Diesel direct et le Diesel électrique sont de beaucoup les systèmes de propulsion les plus économiques.

POIDS. — En raison des différences de mode de construction, de fondations, etc., dans la pratique des différents constructeurs de navires, la question du poids montrerait probablement plus de divergences d'appréciation que les autres. L'importance du poids dépend du type de navire, de la cargaison et de la route suivie, mais elle est toujours grande, car elle a un effet direct sur la consommation totale de combustible et le poids de cargaison transportable. Pour comparer correctement les poids, il faut mettre les machines considérées sur la même base en ce qui concerne la surcharge et le facteur de sécurité.

ENCOMBREMENT. — Les études sur l'encombrement faites jusqu'ici donnent l'avantage au Diesel à couplage direct et au Diesel électrique, où l'économie d'espace est réalisée par l'élimination des chaudières et la réduction des soutes à combustible et à eau. En ce qui concerne les types à turbine électrique et à turbine à engrenages, le facteur d'encombrement est en faveur de la dernière, sauf dans des cas spéciaux. En installant les condenseurs au-dessous des turbines dans les commandes électriques, l'encombrement de surface total peut être réduit de beaucoup.

PRIX D'ACHAT. — En se basant sur l'égalité de vitesse et de couple sur l'arbre d'hélice, la comparaison des frais de première installation conduit à ranger les divers systèmes de propulsion dans l'ordre suivant, en commençant par le plus coûteux : Diesel direct, turbine électrique, turbine à engrenages et Diesel électrique. La relation du prix Diesel direct et du Diesel électrique paraît paradoxale, mais elle s'explique par le fait que les petits moteurs Diesel et les petites dynamos des commandes Diesel électrique peuvent se construire en grand nombre et se stocker, tandis que les moteurs destinés à la commande Diesel direct et les deux types de turbines, à cause de leur poids et de leurs dimensions consi-

(1) W.-E. THAN, *Journal of the A. I. E. E.*, novembre 1921, t. XL, p. 823-834, 11500 mots, 5 fig., 3 tab.

dérables, doivent être exécutés sur commande. Il y a peu de différence en faveur de la turbine à engrenages par rapport à la turbine électrique.

Les frais de première installation du matériel de propulsion ont une influence directe sur la production de bénéfices d'un navire, à cause des charges d'intérêt, d'amortissement et d'assurance.

CONDUITE DU MATÉRIEL. — Les conducteurs de machines actuels sont plus familiers avec les machines à pistons qu'avec les autres et il est probable qu'on rencontrera certaines difficultés en leur confiant un matériel électrique. Il n'y a pas à s'en inquiéter, car ce n'est là qu'une condition temporaire. Les mécaniciens actuels s'habitueront aux équipements électriques comme un nombre suffisant d'entre eux s'est habitué aux turbines à engrenages, comme des conducteurs de locomotives à vapeur se sont habitués aux locomotives électriques.

Voici la liste probable du personnel de conduite nécessaire pour les différents types de commande :

| | MACHINE À VAPEUR À PISTONS | TURBINE À ENGRENAGES | TURBINE ÉLECTRIQUE | DIESEL DIRECT | DIESEL ÉLECTRIQUE |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|----------------------|
| <i>Personnel total :</i> | (1) | (1) | (1) | | |
| Chef de conduite..... | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 ^{er} conducteur..... | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 ^e id..... | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 ^e id..... | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Aides-mécaniciens..... | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| Electriciens..... | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Graisiers..... | 3 | 3 | 3 | 6 | 6 |
| Chauffeurs..... | 6 | 6 | 6 | 0 | 0 |
| | 13 | 13 | 14 | 14 | 11 |
| <i>Pour chaque quart :</i> | | | | | |
| 1 ^{er} , 2 ^e ou 3 ^e conducteur. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Aides-mécaniciens..... | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Electriciens..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Graisiers..... | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| Chauffeurs..... | 2 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |

(1) Relatif aux navires brûlant du pétrole. Pour les navires à charbon, le personnel devrait être augmenté de trois soutiers.

ENTRETIEN. — On ne possède pas encore de données sur l'entretien des machines de propulsion électrique (sauf pour les navires de guerre), mais il n'y a pas de raison de prévoir une grande différence sous ce rapport entre les machines marines et les machines terrestres. On peut même s'attendre à des frais d'entretien moindres pour les premières, car les conditions de charge et les manœuvres de conduite sont moins dures à bord que dans la plupart des grandes installations terrestres.

CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT. — Les caractéristiques de fonctionnement des machines électriques sont particulièrement bien adaptées à la propulsion des navires. Ces caractéristiques étant les mêmes pour les deux sens de rotation, tous les types de commande électrique peuvent fournir le couple maximum et la puissance maximum pour la marche arrière. Pour des raisons d'économie et d'encombrement, l'élément à marche arrière d'une turbine à engrenages est établi pour ne donner que 40 à 60 pour 100 de la pleine puissance.

L'article passe ensuite à la description des équipements électriques de propulsion.

Avec la turbine électrique, on emploie les machines à courant alternatif parce que l'alternateur convient naturellement à l'accouplement direct avec les turbines à grande vitesse; avec le système Diesel électrique, on emploie les machines à courant continu par ce que leurs caractéristiques s'adaptent bien au fonctionnement du moteur Diesel.

Avec le système turbine électrique, le genre de matériel peut encore se subdiviser comme suit, eu égard au type de moteur :

1^o Moteur asynchrone : rotor bobiné, ordinaire et avec correction du facteur de puissance; cage d'écureuil; combinaison de cage d'écureuil et de rotor bobiné.

2^o Moteur synchrone.

TURBINE ÉLECTRIQUE. — La vitesse à laquelle fonctionne la turbine dépend de la vitesse d'hélice, à cause de la limite qu'on doit observer dans le nombre de pôles du moteur. En pratique, des considérations telles que celles du facteur de puissance (moteur asynchrone), du diamètre et de l'assemblage, fixent la limite aux environs de 60 à 72 pôles. Comme la vitesse du moteur et le nombre de ses pôles déterminent la vitesse de la turbine et de l'alternateur, il y a donc une limite aux vitesses de turbine. Pour la plupart des bateaux marchands, cette vitesse est plus faible que la vitesse la plus économique de la turbine. L'hélice ayant son meilleur rendement quand elle est établie pour de faibles vitesses, il est recommandable de ne pas dépasser 90 à 100 t : mn pour les bateaux marchands ordinaires.

Si l'on admet une vitesse d'hélice de 100 t : mn, un moteur à 60 pôles et un alternateur bipolaire, l'alternateur et la turbine marcheraient à 3000 t : mn (en négligeant le glissement dans le cas du moteur asynchrone). Cela donne une réduction de vitesse de 30 à 1 entre la turbine et l'hélice : elle est à peu près la même quel que soit le type de moteur.

Quand on emploie le moteur asynchrone, soit à rotor bobiné, soit à cage d'écureuil, le facteur de puissance, dans les équipements électriques de navires, est d'environ 0,70; il est un peu moins élevé pour le second type que pour le premier. Le rendement du moteur à cage d'écureuil de construction ordinaire est aussi un peu moindre que celui du moteur à rotor bobiné, parce que le rotor doit avoir une résistance assez grande pour qu'on obtienne le couple nécessaire à l'inversion de marche sans courant excessif. En employant des moteurs à double enroulement secondaire, on peut avoir le couple nécessaire sans courant excessif et avec un rendement un peu plus élevé. Les moteurs de ce type sont actuellement en fonctionnement sur des navires.

Le système turbine-moteur synchrone ne diffère du précédent que dans les détails. Les caractéristiques du moteur synchrone ordinaire ne convenant pas à la propulsion des navires, il faut munir le rotor d'une cage d'écureuil robuste établie de façon à ne pas faire disparaître certains caractères avantageux du moteur synchrone simple.

Le moteur synchrone possède la caractéristique importante du facteur de puissance unité. Il s'ensuit une légère diminution de poids et de dimensions, et par suite de prix, pour le moteur et l'alternateur, par rapport au système précédent. En raison de la nécessité d'un petit groupe électrogène spécial pour l'excitation, le rendement n'est presque pas supérieur.

On peut aussi obtenir un facteur de puissance unité avec un moteur asynchrone à rotor bobiné pourvu d'un avanceur de phase. Ce système réunit tous les caractères avantageux du moteur synchrone et du moteur asynchrone.

DIESEL ÉLECTRIQUE. — Pour obtenir les meilleurs résultats avec la commande Diesel électrique, il est nécessaire d'avoir recours à plusieurs groupes électrogènes relativement petits et à vitesse modérément élevée pour fournir la puissance à des moteurs de propulsion constitués par une machine simple ou double et directement accouplés. Non seulement la puissance engendrée doit se partager également ou proportionnellement entre les groupes électrogènes, mais le système doit aussi se prêter commodément et économiquement à la régulation de vitesse.

Dans le cas du courant alternatif, il faudrait faire marcher les génératrices en parallèle, donc obtenir des vitesses pratiquement identiques de toutes les machines motrices. On réalise ces conditions dans plusieurs installations terrestres où les machines motrices marchent à vitesse constante, mais à bord, où il faut faire varier la vitesse de tous les groupes simultanément, la difficulté serait très grande et la marche peu sûre.

La régulation de la vitesse se fait par variation de la tension fournie par les dynamos, ce qui est tout indiqué, puisque ce système est d'une économie parfaite et que, l'équipement de propulsion formant un tout isolé, ses variations de tension ne réagissent pas sur les circuits auxiliaires du bord. Avec la marche en parallèle des génératrices, la régulation de la tension serait chose difficile, car il faudrait des rhéostats de champ très soigneusement ajustés, des dynamos à courbes de magnétisme pratiquement identiques, des moteurs thermiques à régulation identique aussi. Le montage en série élimine ces difficultés, car la variation de tension entre les génératrices n'influe pas sur le fonctionnement.

Les moteurs et les dynamos étant à excitation shunt pure, on fait varier la vitesse du moteur pour le système de réglage de la tension. Dans ce système, les inducteurs de la dynamo et du moteur sont excités séparément (de préférence par la même source.) L'inducteur du moteur est excité à potentiel constant, et dans un seul sens, tandis qu'on fait varier l'excitation de la dynamo pour obtenir la vitesse voulue du moteur. De cette manière, la vitesse des moteurs est proportionnelle à la tension de la dynamo et l'on peut obtenir une vitesse quelconque depuis zéro jusqu'au maximum dans les deux sens en manœuvrant seulement le rhéostat de champ de la dynamo (on emploie un rhéostat commun pour toutes les dynamos). La simplicité et l'économie de ce système sont évidentes.

Dans le cas d'accident aux moteurs thermiques, la puissance de réserve est plus grande avec ce système de commande qu'avec tout autre. En admettant que la puissance varie comme le cube de la vitesse, un navire Diesel électrique à trois moteurs Diesel donnera 88 pour 100 de sa vitesse normale avec deux dynamos et 70 pour 100 avec une dynamo.

La commande par Diesel électrique est celle qui a le plus grand domaine d'applications (sans excepter la turbine à engrenages et la turbine électrique). Elle s'applique très bien aux navires marchands, aux péniches, aux bateaux de rivière, aux bateaux de lac, aux bacs, aux petits bateaux côtiers, aux yachts, aux bateaux de pêche, aux garde-côtes, aux bateaux poseurs de câbles.

NAVIRES DE GUERRE. — Les équipements de propulsion électrique des navires de guerre ayant été déjà maintes fois décrits, l'article n'en parle que succinctement.

Les dix-neuf derniers navires de premier rang de la marine des Etats-Unis ont été ou seront pourvus de la commande électrique. L'exigence primordiale à satisfaire, la sûreté de fonctionnement, a été reconnue à la machinerie électrique dès la première installation. Elle donne aussi une économie de combustible plus grande que tout autre système. Elle a encore deux autres avantages : les machines sont mieux protégées contre les torpilles et les qualités de manœuvre sont meilleures.

Des deux types de propulsion électrique, la turbine électrique convient seule pour les navires de guerre, à cause des grandes puissances nécessaires. Dans les dix-neuf machineries achevées ou en cours de construction, on emploie les moteurs asynchrones, mais il y a des différences dans les types de ces moteurs. Trois navires sont en services : les moteurs du « New-Mexico » ont un enroulement rotorique à double cage d'écureuil, les moteurs du « Tennessee » ont un rotor bobiné avec résistance intérieure pour la mise en route et les manœuvres, les moteurs du « Maryland » ont des rotors réunissant une cage d'écureuil unique et un enroulement bobiné.

P. L.

La première station génératrice à 220 000 v. (1).

Cette station génératrice hydraulique installée sur la San Joaquin River pourra fournir une puissance totale de 135 000 kw, elle possède actuellement une seule turbine de 22 500 kw, les travaux ont été commencés sur place en mars 1921, la turbine fut mise en marche en août ; le réseau actuel est alimenté par sept autres stations génératrices sous la tension de 150 000 v, qui, plus tard, sera portée à 220 000 v après achèvement de la station numéro 8 ; cette tension a été choisie en raison de la puissance totale énorme qui devra être transmise et qui dépassera 900 000 kw.

La chute à utiliser atteint 207 m, et le bassin de charge et les conduites comportent tous les appareils et accessoires utiles pour assurer un bon fonctionnement. A la partie inférieure, la conduite en charge a un diamètre de 4,800 m, elle peut communiquer par une valve, soit avec la turbine, soit avec une conduite de décharge ; la turbine est capable de développer une puissance de 22 000 ch en tournant à 4,8 t/mn, elle est à axe vertical et comporte une seule roue à aubes exécutée en bronze, elle évacue dans un diffuseur dont la partie supérieure est en acier et peut être enlevée pour l'examen ou le remplacement de la roue à aubes. L'alternateur construit par la General Electric Co fournit des courants triphasés sous 11 500 v avec excitatrice en bout d'arbre ; l'interrupteur dans l'huile est installé entre l'alternateur et le transformateur, mais il est court-circuité par un système de sectionneurs ; il sera utilisé lorsque d'autres générateurs seront installés ; les circuits auxiliaires sont alimentés par un groupe spécial de 187 kw sous 220 v.

Les connexions entre l'alternateur et les transformateurs sont exécutées en cuivre rectangulaire de forte section et sont fixées en de nombreux points pour résister avec toute sécurité aux courts-circuits les plus sévères. Les transformateurs de la General Electric Co sont établis pour une puissance de 8 233 kv-a sous 220 000 v ; comme ils doivent être connectés sans résistance à un système mis à la terre d'une manière permanente, il a été possible de placer la sortie à haute tension au milieu de la hauteur du noyau ; le point neutre étant alors placé au sommet et à la base du noyau, il en résulte un bénéfice considérable sur la hauteur de ce dernier, car autrement le tube isolant aurait dû dépasser de beaucoup l'enroulement ; ce gain sur la hauteur est estimé à 80 cm, le nombre de spires de l'enroulement à haute tension est ainsi double de celui qui est nécessaire avec une autre disposition ; la moitié inférieure de l'enroulement de chacun des noyaux est en série avec la moitié supérieure de l'autre et les deux groupes mis en parallèle. L'enroulement à basse tension consiste en une bobine hélicoïdale de huit lumes en parallèle et séparées d'une manière suffisante pour permettre le passage de l'huile, les espaces libres entre ces spires correspondent aux espaces libres entre bobines haute tension de sorte que la circulation de l'huile peut être très active ; les bobines haute et basse tension sont de forme circulaire et possèdent par suite une résistance mécanique considérable, les efforts suivant la longueur du noyau sont équilibrés par des dispositifs robustes. Les noyaux sont exécutés de telle manière que la surface de refroidissement soit considérable ; le bac contenant le transformateur est complètement plein d'huile, il est muni du dispositif dit « conservateur » qui garantit l'huile contre toute détérioration. Les sorties à haute tension sont du type à huile, elles ont été essayées sous 650 000 v pendant une minute. Du transformateur les lignes à 220 000 v passent aux interrupteurs, au nombre de deux par transformateur et disposés à deux étages séparés, l'un au-dessus de l'autre, elles passent ensuite aux barres-omnibus qui font en réalité partie de la ligne de transmission.

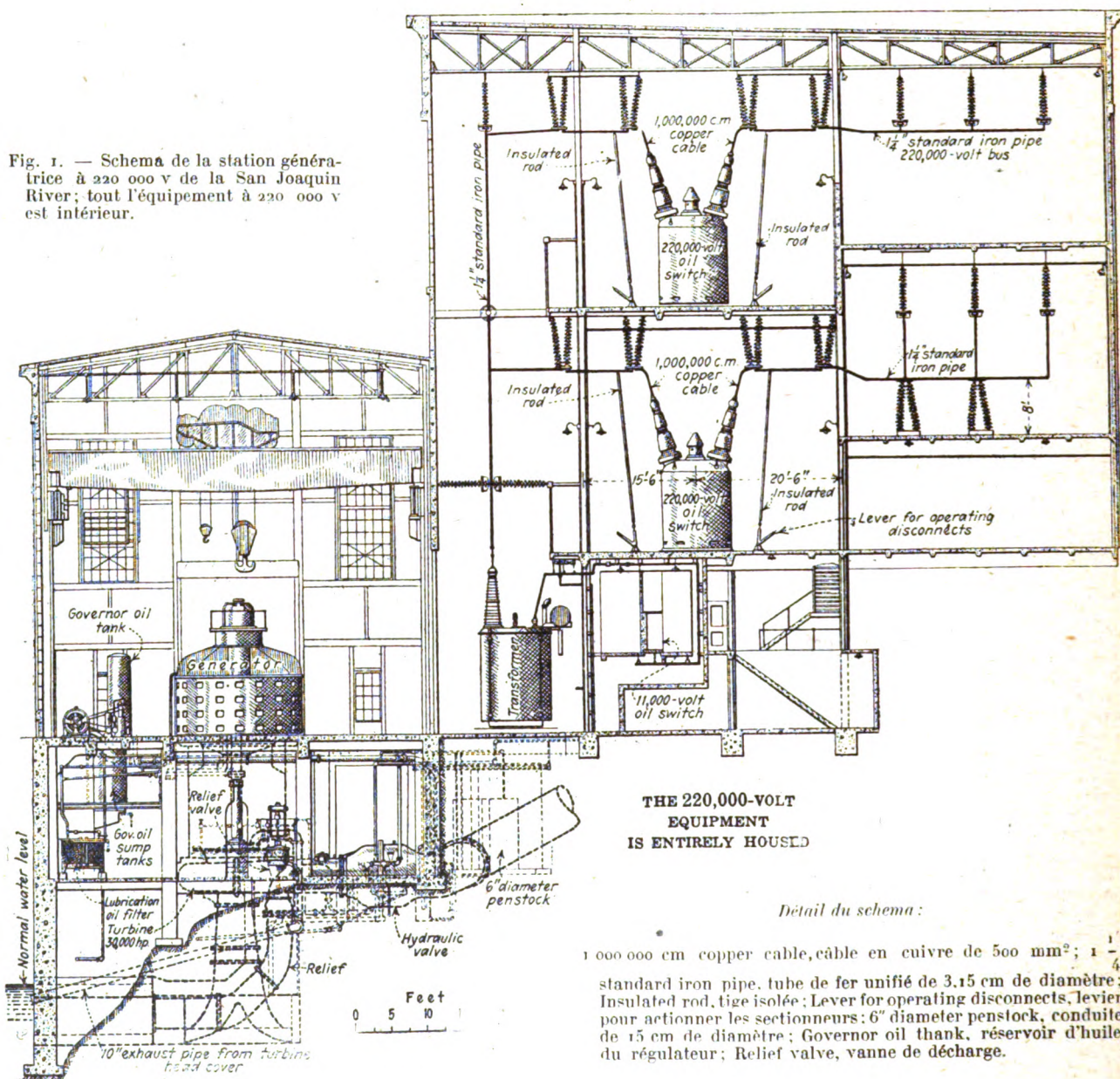
Les interrupteurs sont les plus grands qui aient jamais été

(1) *Electrical World*, 3 décembre 1921, t. LXXVIII, page 1115-1117, 2 500 mots, 12 fig.

construits; à leur partie inférieure, ils forment chambre d'explosion, laquelle contient les contacts fixes. Les contacts mobiles pour chaque phase consistent en deux plongeurs en cuivre boulonnés aux extrémités d'une barre de bois fixée à une tige verticale également en bois et guidée en

deux points; chaque interrupteur complet avec l'huile pèse 90 t. Le bâtiment de la station est en béton armé et charpente en fer; il comporte deux parties principales: la première contenant le générateur, l'autre les interrupteurs et les circuits à haute tension; la figure 1 en fait voir la dis-

Fig. 1. — Schema de la station génératrice à 220 000 v de la San Joaquin River; tout l'équipement à 220 000 v est intérieur.



position; l'extrémité correspondant aux agrandissements futurs est fermée par une paroi en tôle galvanisée; un pont roulant de 140 t est installé dans la salle des machines. Comme la station est établie à une altitude de 675 m seulement dans une contrée où la température atteint en été des valeurs très élevées, on a prévu un dispositif permettant

d'humidifier l'air de refroidissement pour le générateur. Les canalisations d'eau de refroidissement des transformateurs et des psliers sont alimentées par des pompes actionnées par une roue Pelton; des pompes de secours sont actionnées par des moteurs électriques.

E. B.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Importations et exportations françaises

de matériel électrique, produits électrométallurgiques et électrochimiques.

Les tableaux ci-dessous donnent un aperçu des principaux articles d'échanges entre la France et les pays étrangers pour ce qui a trait au matériel électrique et aux produits électrométallurgiques et électrochimiques.

Tableau I. — Matériel électrique.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES DIX PREMIERS MOIS DES ANNÉES 1919, 1920 ET 1921.

| PAGES DES DOCUMENTS OFFICIELS | DÉSIGNATIONS | QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINCAUX MÉTRIQUES | | | VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|-----------------------------------------------|---------|---------|--------|
| | | 1921 | 1920 | 1919 | 1921 | 1920 | 1919 | |
| | | | | | | | | |
| 101 | IMPORTATIONS | I. Machines } pesant 1 000 kg et plus..... | 36 101 | 35 565 | 22 747 | 25 271 | 35 565 | 15 923 |
| | | dynamo-électriques } — 50 kg et moins de 1 000 kg..... | 15 704 | 18 811 | 9 616 | 12 563 | 22 573 | 7 693 |
| | | II. Appareils électriques } — moins de 50 kg..... | 3 014 | 6 269 | 1 905 | 3 617 | 10 657 | 2 286 |
| | | et électrotechniques } avec enroulement de fil métal. isolé..... | 8 519 | 8 407 | 6 555 | 42 595 | 58 349 | 32 775 |
| 102 | | III. Bâtis et carcasses de } sans enroulement..... | 6 987 | 6 408 | 3 184 | 20 961 | 25 911 | 9 552 |
| 87 | | IV. Lampes } dynamos et moteurs électriques..... | 1 831 | 2 422 | 2 208 | 549 | 109 | 662 |
| | | électriques } à filament de charbon, avec monture..... | 44 | 19 | 21 | 176 | 76 | 84 |
| | | à filament métallique, id..... | 2 605 | 2 555 | 1 831 | 14 042 | 28 165 | 12 838 |
| | | à incandescence } sans monture..... | 23 | 16 | 17 | 184 | 192 | 136 |
| 102 | | V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier..... | 30 | 52 | 28 | 45 | 111 | 42 |
| 84 | | VI. Charbons préparés pour usages industriels..... | 1 619 | 5 188 | 21 169 | 971 | 4 150 | 12 701 |
| 102 | | VII. Fils et câbles isolés pour l'électricité..... | 3 663 | 5 727 | 9 966 | 4 396 | 5 727 | 11 959 |
| | VIII. Induits de machines dynamo-électriques et pièces détachées pour appareils électriques..... | 5 966 | 5 854 | 3 710 | 11 932 | 17 562 | 7 420 | |
| | IX. Aimants autres que les électro-aimants..... | 27 | 63 | 1 | 20 | 63 | 1 | |
| 105 | X. Accumulateurs et pièces détachées..... | 3 647 | 2 760 | 2 917 | 2 188 | 1 642 | 1 750 | |
| 86 | XI. Piles sèches..... | 70 | 187 | 180 | 49 | 159 | 126 | |
| | XII. Pièces pour l'électricité en porcelaine, faïence, grès, isolateurs et autres..... | 15 607 | 9 764 | 4 041 | 7 398 | 5 331 | 1 915 | |
| 87 | Pièces pour l'électricité en verre..... | 38 | | 367 | 13 | | 128 | |
| | | 104 896 | 107 887 | 90 466 | 146 970 | 217 288 | 117 991 | |
| <i>Exportation de matériel électrique fabriqué en France ou français après transformation</i> | | | | | | | | |
| 175 | EXPORTATIONS | I. Dynamos et transformateurs..... | 17 152 | 22 903 | 5 865 | 17 152 | 33 209 | 5 865 |
| | | II. Appareils électriques et électrotechniques..... | 24 692 | 21 767 | 5 755 | 79 014 | 97 516 | 18 416 |
| 176 | | III. Bâtis et carcasses de dynamos et de moteurs électriques..... | 502 | 707 | 22 | 151 | 318 | 7 |
| 160 | | IV. Lampes à incandescence..... | 1 316 | 1 493 | 646 | 6 316 | 9 854 | 3 101 |
| 176 | | V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier..... | 138 | 31 | 40 | 155 | 216 | 45 |
| 157 | | VI. Charbons préparés pour usages industriels..... | 15 642 | 30 574 | 26 788 | 11 262 | 27 517 | 19 287 |
| 176 | | VII. Fils et câbles isolés pour l'électricité..... | 21 722 | 20 038 | 12 839 | 19 550 | 18 034 | 11 555 |
| | | VIII. Induits de dynamos et pièces pour appareils électriques..... | 3 784 | 4 725 | 2 406 | 7 492 | 14 033 | 4 764 |
| | | IX. Aimants autres que les électro-aimants..... | 111 | 175 | 38 | 83 | 175 | 29 |
| 178 | | X. Accumulateurs électriques et pièces détachées..... | 3 242 | 7 635 | 5 336 | 2 205 | 5 841 | 3 628 |
| | | XI. Piles sèches..... | 2 236 | 2 544 | 703 | 1 073 | 1 730 | 337 |
| 159 | | XII. Pièces pour l'électricité en porcelaine, faïence, grès, blanc ou de couleur, isolateurs et autres..... | 8 596 | 4 379 | 3 674 | 3 748 | 2 071 | 1 602 |
| 160 | Pièces pour l'électricité en verre..... | 4 724 | 1 452 | 328 | 1 238 | 392 | 86 | |
| | | 103 857 | 118 523 | 44 440 | 149 439 | 210 906 | 68 722 | |

Ces données sont extraites des statistiques générales fournies mensuellement par la Direction des douanes françaises.

De l'examen du tableau n° I relatif au matériel électrique, il ressort que le mouvement d'échanges, tant à l'importation qu'à l'exportation, a été en général en décroissance pour les dix premiers mois de 1921, en

comparaison avec la période correspondante de 1920. Parmi les articles les plus sensiblement touchés, il faut citer les *dynamos*, les *appareils électriques et électrotechniques* et les *charbons préparés*. Les articles qui ont résisté à la baisse sont : les *pièces céramiques* et les *isolateurs*, les *fils et câbles isolés* et la *verrerie électrique*.

TABLEAU A. — Indices de supériorité de quelques articles d'importation étrangère de matériel électrique sur l'exportation française pour les dix premiers mois de 1921.

| ARTICLES | SUPÉRIORITÉ DES IMPORTATIONS | | OBSERVATIONS |
|----------|------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | en valeur | en poids | |
| | francs | quintaux | |
| I | 24 299 000 | 37 667 | <i>Dynamos.</i> — La baisse s'est accentuée d'un mois sur l'autre, tant à l'importation qu'à l'exportation. C'est ainsi que l'étranger a importé 5 826 quintaux de moins pour valeur moindre de 27 millions de francs et que la France a exporté en moins 5 751 quintaux pour valeur moindre de 16 millions de francs. |
| IV | 8 086 000 | 757 | <i>Lampes à incandescence.</i> — La décroissance de l'importation a été de 517 quintaux et de 14 millions de francs. Celle de l'exportation a été de 177 quintaux et de 3,5 millions de francs. |
| VIII | 4 440 000 | 2 182 | <i>Induits de dynamos et pièces accessoires.</i> — L'importation a déchu d'une valeur de 5,5 millions de francs. L'exportation a baissé de 941 quintaux et de 6,5 millions de francs. |
| XII | 3 650 000 | 7 011 | <i>Pièces céramiques et isolateurs.</i> — Il y a eu mouvement ascendant aussi bien dans les importations (5 843 quintaux et 4 millions de francs) que dans les exportations, soit 4 217 quintaux et 1,5 million de francs. |
| X | | 405 | <i>Accumulateurs et pièces détachées.</i> — Les échanges ont été à peu près égaux entre la France et l'étranger, l'importation l'emportant en poids de seulement 405 quintaux et l'exportation n'étant supérieure que pour une valeur de 17 000 francs. |
| | 40 475 000 | 48 022 | Supériorité relative de l'importation pour les dix premiers mois de 1921. |

TABLEAU B. — Indices de supériorité de quelques articles d'exportation française de matériel électrique sur l'importation étrangère pour les dix premiers mois de 1921.

| ARTICLES | SUPÉRIORITÉ DES EXPORTATIONS | | OBSERVATIONS |
|----------|------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | en valeur | en poids | |
| | francs | quintaux | |
| VII | 15 154 000 | 18 059 | <i>Fils et câbles isolés.</i> — Si les exportations ont augmenté d'une année sur l'autre de 1 684 quintaux pour valeur de 1,5 million de francs, les importations ont diminué de 2 064 quintaux et de 1 331 000 fr. |
| VI | 10 291 000 | 14 023 | <i>Charbons préparés.</i> — Les importations ont déchu de 3 569 quintaux pour valeur de 3 179 000 fr. Mais les exportations ont diminué encore plus, soit de 14 932 quintaux et de 16 millions de francs. |
| II | 15 458 000 | 9 186 | <i>Appareils électriques et électrotechniques.</i> — Il est à noter que si, tant à l'exportation qu'à l'importation, les poids ont augmenté, soit de 2 925 quintaux pour l'une et de 791 pour l'autre, toutes deux ont diminué considérablement de valeur, soit pour l'exportation, de 18,5 millions de francs et pour l'importation, de plus de 21,5 millions de francs. |
| XII | 1 225 000 | 4 686 | <i>Verrerie électrique.</i> — L'exportation a augmenté de 3 272 quintaux et d'une valeur de 846 000 fr. l'importation ayant été presque nulle. |
| | 42 128 000 | 45 954 | Supériorité relative de l'exportation pour les dix premiers mois de 1921. |

Si nous passons du tableau n° II relatif aux *produits électrométallurgiques* et *électrochimiques*, nous remarquons que l'importation n'a été supérieure à l'exportation que pour le *nitrate de calcium* et la *cyanamide calcique*; pour les autres articles, elle a été de beaucoup inférieure à l'exportation et le chiffre des diminutions a été, en poids, de 193 317 quintaux mé-

triques, pour une valeur totale de 32 468 000 fr. Quant aux exportations, elles n'accusent une augmentation que sur le *carbure de calcium*. Cet arrêt dans les exportations provient sans doute de l'utilisation plus fréquente effectuée ces derniers mois des propres ressources de la France en matières premières nécessaires à l'industrie électrique par les constructeurs métropo-

litains qui se sont ressaisis et ont repris leurs fabrications avec plus d'activité.

OBSERVATION. — Pour que les exportations reprennent leur essor d'avant-guerre, il ne suffit pas seulement que

les matières premières et le combustible soient à la portée des constructeurs en quantités suffisantes, que la main-d'œuvre ne leur fasse pas défaut, que son taux ne soit pas trop onéreux et que les capitaux (abondants en France, quoi qu'on en dise) soient mis sans

Tableau II. — Produits électrométallurgiques et électrochimiques.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES NEUF PREMIERS MOIS DES ANNÉES 1919, 1920 ET 1921.

| PAGES DES DOCUMENTS OFFICIELS | DÉSIGNATION | QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES | | | VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------|---------|---------|-----------------------------------------------|--------|--------|--------|
| | | 1921 | 1920 | 1919 | 1921 | 1920 | 1919 | |
| | | | | | | | | |
| 65 | IMPORTATIONS | I. Aluminium { en lingots ou déchets. | 2 129 | 9 519 | 41 450 | 969 | 8 567 | 18 860 |
| | | { battu, tiré, laminé, filé ou en poudre. | 488 | 954 | 5 105 | 390 | 1 097 | 4 084 |
| | | II. Ferro-alliages { ferro-manganèse | 17 948 | 70 896 | 70 345 | 3 410 | 14 888 | 13 366 |
| | | { ferro-silicium | 1 449 | 12 440 | 19 084 | 116 | 1 493 | 1 527 |
| | | { autres | 2 000 | 3 088 | 14 516 | 160 | 340 | 1 161 |
| 68 | | III. Carbure de calcium | 18 485 | 33 609 | 148 141 | 2 311 | 3 428 | 16 296 |
| 80 | | IV. Nitrate de calcium et cyanamide calcique. | 11 511 | 116 821 | 38 419 | 737 | 10 748 | 2 459 |
| | | | 54 010 | 247 319 | 337 060 | 8 093 | 40 561 | 57 753 |
| <i>Exportation de produits fabriqués en France ou francisés après transformation</i> | | | | | | | | |
| 138 | EXPORTATIONS | I. Aluminium { en lingots ou déchets. | 1 205 | 11 508 | 29 062 | 548 | 9 781 | 13 223 |
| | | { battu, tiré, laminé, filé ou en poudre. | 1 968 | 13 137 | 960 | 1 574 | 15 108 | 768 |
| | | II. Ferro-alliages { ferro-manganèse | 19 310 | 27 275 | 7 621 | 3 669 | 5 728 | 1 448 |
| | | { ferro-silicium | 26 120 | 27 861 | 1 367 | 2 090 | 3 343 | 109 |
| | | { autres | 5 741 | 22 886 | 1 615 | 459 | 2 517 | 129 |
| 141 | | III. Carbure de calcium | 47 975 | 47 077 | 12 315 | 5 997 | 4 802 | 930 |
| 154 | | IV. Nitrate de calcium et cyanamide calcique. | 1 376 | 8 116 | 75 | 88 | 755 | 5 |
| | | | 103 696 | 157 860 | 53 015 | 14 415 | 42 035 | 16 618 |

TABLEAU C. — Indices du mouvement d'échanges internationaux des principales matières premières électrométallurgiques et électrochimiques pour les dix premiers mois des années 1920 et 1921 comparées.

| DÉSIGNATION | SUPÉRIORITÉ EN 1921 DE L'IMPORTATION SUR L'EXPORTATION | | AUGMENTATION DES IMPORTATIONS DE 1921 SUR 1920 | | DIMINUTION DES IMPORTATIONS DE 1921 SUR 1920 | | SUPÉRIORITÉ EN 1921 DE L'EXPORTATION SUR L'IMPORTATION | | AUGMENTATION DES EXPORTATIONS DE 1921 SUR 1920 | |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------|-----------|
| | en poids | en valeur | en poids | en valeur | en poids | en valeur | en poids | en valeur | en poids | en valeur |
| | quintaux | francs | quintaux | francs | quintaux | francs | quintaux | francs | quintaux | francs |
| I. Aluminium : en lingots, déchets et demi-ouvré. | | | | | 7 856 | 8 305 000 | 556 | 763 000 | | |
| II. a) Ferro-man- ganèse..... | | | | | 52 948 | 11 478 000 | 1 362 | 259 000 | | |
| b) Ferro-sili- cium..... | | | | | 10 991 | 1 377 000 | 24 671 | 1 974 000 | | |
| c) Autres-ferro- alliages..... | | | | | 1 088 | 180 000 | 3 742 | 299 000 | | |
| III. Carbure de cal- cium..... | | | | | 15 124 | 1 117 000 | 29 490 | 3 686 000 | 898 | 1 195 000 |
| IV. Nitrate de calcium et cyanamide calcique..... | 11 135 | 649 000 | | | 105 310 | 10 011 000 | | | | |
| | 11 135 | 649 000 | | | 193 317 | 32 468 000 | 59 821 | 6 981 000 | 898 | 1 195 000 |

compter à la disposition des industriels français. Il faut aussi, ce qui fait actuellement défaut, une confiance réciproque entre nations, propre à accélérer la reconstitution économique mondiale. Cette confiance mutuelle ne peut être solidement assurée, à notre humble avis, qu'une fois qu'auront été mises en pratique certaines conditions essentielles pour la France, entre autres les suivantes : la stricte exécution par l'Allemagne des stipulations du traité de Versailles relatives aux paiements et aux réparations, que l'Allemagne s'exécute de bon gré ou contrainte par la force ; — la persuasion, de la part de nos ex-alliés des Etats-Unis et d'Angleterre, que le recours à la force exigé par nous en dernier ressort, ne soit pas considéré par eux comme indice de militarisme et d'impérialisme mais bien comme nécessité pour une nation attaquée et victorieuse, plus frap-

pée d'impôts que la nation ennemie vaincue ; — le souhait que nos amis anglais comprennent enfin le besoin qu'a la France de posséder des unités marines pour la défense de ses vastes colonies, et qu'il serait ridicule de croire destinées à l'attaque des navires marchands britanniques ; — le vœu que nos vaillants frères d'armes d'outre-Manche de la grande guerre, dont c'est le grand intérêt de marcher avec nous en temps de paix la main dans la main, cessent de subir l'influence néfaste de certain groupement financier anglais à tendances impérialistes mondiales, qui feint parfois de s'effrayer des bien modestes efforts d'expansion économique française en Orient et ailleurs.

Désiré PECTOR,

Conseiller honoraire du Commerce extérieur.

Assemblées générales

Groupeement des Compagnies d'Énergie électrique et d'Éclairage du Nord et de l'Est.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU 27 DÉCEMBRE 1921.

En vertu des prescriptions de l'article 7 des statuts, le Conseil d'Administration du Groupeement est autorisé à augmenter le capital social par ses seules délibérations et par la création d'actions à souscrire en numéraire, et à le porter en une ou plusieurs fois, à dix millions de francs au maximum.

En vue de mettre en harmonie le montant du capital social avec le montant de l'emprunt à émettre par le Groupeement, le Conseil d'Administration a décidé, dans sa séance du 27 octobre 1921, la création de 3 000 actions nouvelles de 1 000 francs.

Les actionnaires ont été convoqués pour vérifier cette augmentation.

Les résolutions suivantes ont été votées :

Première résolution. — L'Assemblée générale, après vérification, reconnaît sincères et véritables :

1° La déclaration faite par le Conseil d'Administration du Groupeement des Compagnies d'énergie électrique et d'éclairage du Nord et de l'Est, suivant acte reçu par M^e Panhard, notaire à Paris, le 16 décembre 1921, de la souscription de 3 000 actions nouvelles de 1 000 francs chacune, représentant l'augmentation de capital de 3 millions de francs, décidée par le Conseil d'Administration le 27 octobre 1921 et du versement du quart effectué sur chacune de ces actions.

2° Et les pièces à l'appui de cette déclaration.

En conséquence, cette augmentation est définitivement réalisée, et le capital social qui était de un million de francs, est élevé à quatre millions de francs.

Deuxième résolution. — L'Assemblée générale, vu la résolution ci-dessus votée, décide que l'article 6 des statuts sera modifié en conséquence et rédigé ainsi qu'il suit : Le capital social est fixé à quatre millions de francs et divisé en 4 000 actions de 1 000 francs chacune à souscrire et payables en numéraire.

Tréfileries et Laminoirs du Havre.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 28 DÉCEMBRE 1921.

L'exercice écoulé, qui donnait beaucoup de promesses à son début, a été marqué, vers la fin du premier semestre, par une dépression brusque due au ralentissement général des affaires. Au cours du second semestre, la crise s'est accentuée et les prix de vente se sont toujours plus avilis, surtout pour les produits d'acier et les ventes à l'exportation, par suite de la concurrence allemande, qui, en raison du change déprécié, paie le charbon et la main-d'œuvre beaucoup moins cher que les industriels français. Grâce à sa puissante organisation industrielle et commerciale, la société n'a pas trop souffert de ces circonstances défavorables. Les bénéfices de l'exercice 1920-1921 s'élèvent à 10 253 790,21 fr.

Après déduction des frais généraux et amortissement, ainsi qu'un premier dividende de 5 pour 100 sur le capital et d'un tantième statutaire, le bénéfice disponible s'élève à 4 188 411,19 fr auquel il faut ajouter 326 138,04 fr comme report du précédent exercice, soit donc un total de 4 514 549,23 fr. Après répartition d'un second dividende de 7 pour 100 sur le capital, soit 4 200 000 fr, il reste 3 114 549,23 fr qui sont reportés à nouveau.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

| <i>Actif.</i> | | fr |
|-------------------------------------------|-----------------------|----|
| Immobilisations..... | 34 681 975,80 | |
| Compte siège social..... | 968 531 » | |
| Valeurs disponibles..... | 12 259 752,67 | |
| Titres en portefeuille..... | 53 206 403,70 | |
| Débiteurs divers..... | 60 287 302,18 | |
| Marchandises et approvisionnements..... | 108 846 668,45 | |
| | <u>270 250 633,86</u> | |
| <i>Passif.</i> | | fr |
| Capital social..... | 60 000 000 » | |
| Réserve..... | 20 041 450,91 | |
| Obligations et bons..... | 51 100 000 » | |
| Créditeurs divers..... | 128 529 254,70 | |
| Profits et pertes..... | 326 138,04 | |
| Bénéfice net de l'exercice 1920-1921..... | 10 253 790,21 | |
| | <u>270 250 633,86</u> | |

SECTION DE LÉGISLATION

Le droit de suite des inventeurs

L'auteur analyse et critique la proposition, faite récemment par un groupement bien intentionné, mais peu averti des difficultés et des incidences multiples de la législation industrielle moderne tant interne qu'internationale, d'instituer un « droit de suite des inventeurs sur leurs inventions ».

I. — Le mercredi 30 novembre dernier, dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne, sous la présidence de M. Appell, recteur de l'Université de Paris, une manifestation organisée par le Syndicat des Inventeurs français eut lieu pour proclamer le « droit spécial des inventeurs sur leurs inventions », et la nécessité de faire voter par le Parlement un texte instituant un « droit de suite » au profit des inventeurs, analogue au droit de suite accordé par une loi récente aux artistes sur leurs œuvres.

A vrai dire cette manifestation dans l'immense nef, bien qu'appuyée par une retentissante musique militaire et célébrée par quelques articles inspirés, est passée presque inaperçue; il faut reconnaître au surplus que, malgré les innombrables invitations lancées, elle ne put rassembler qu'un public très restreint, féminin pour une large part, et qu'aussi bien les discours prononcés, les programmes vagues esquissés, la carence complète des textes attendus, ont déçu les quelques personnalités pouvant prétendre à quelque compétence, dans les problèmes complexes de la législation industrielle, qui assistaient à la séance en curieux sympathiques.

Malgré la qualité incontestable des orateurs, savants distingués et très honorables, mais naturellement peu versés dans les questions de législation industrielle, malgré leur évidente bonne foi, rien d'intéressant ne fut dit, sinon les lamentations devenues classiques et trop réelles d'ailleurs sur la grande misère de nos laboratoires, l'insuffisante rétribution des chercheurs, mais rien de précis sur les projets annoncés, sinon même, dès que le problème était abordé positivement, des hérésies lamentables, des impossibilités naïves, soulignant la complète insuffisance en ces matières des orateurs, et enlevant, par suite, à la manifestation tout caractère sérieux et utile. Il régnait une atmosphère de réunion publique, propice aux larges éclats philanthropiques, aux tirades faciles à côté du sujet, de telle sorte que loin d'aider à la réalisation d'ailleurs imprécise de leur but proclamé, les organisateurs semblent bien en avoir compromis le succès.

II. — Il nous serait cruel de rappeler, bien que les notes prises par nous au cours de la réunion soient

abondantes, toutes les absurdités proclamées par les braves gens, que nous écoutions avec sympathie.

Mais dans l'intérêt même des savants, agents actifs et désintéressés du progrès industriel et du progrès social en général, il paraît indispensable de relever les erreurs affirmées avec la bonne foi de l'incompétence, dans la matière si complexe qu'ils avaient abordée le 30 novembre; d'expliquer pourquoi certaines dispositions, qui leur paraissaient mauvaises, sont au contraire, sinon excellentes, du moins les moins mauvaises qu'il est possible; que les perfectionnements que les hommes de bonne volonté, techniciens et juristes, versés dans le domaine de la propriété intellectuelle pour être durables et équitables doivent être lentement élaborés; qu'il faut tenir compte des leçons du passé pour orienter l'avenir, qu'il faut surtout tenir compte de la concurrence des législations étrangères, sur lesquelles l'action est quasi nulle.

Bref, les problèmes abordés sont extrêmement difficiles à résoudre, et ce n'est pas au moment même que le projet de réforme de la loi de 1844 sur les inventions est près d'aboutir, après un demi-siècle d'étude attentive, après maints congrès, au cours desquels la discussion la plus large fut permise, alors que les plus qualifiés des inventeurs, techniciens, juristes, économistes de France et de l'étranger purent se faire entendre, que toutes les faces de toutes les questions furent envisagées et minutieusement étudiées, qu'il faut, sous l'empire d'une sentimentalité puérile se laisser aller à un mouvement inconsidéré qui rejetterait dans l'ombre le projet, si longuement et patiemment élaboré, et paralyserait les progrès recherchés de bonne foi par les plus compétents.

Ce n'est pas pour obéir à un méprisable désir de critique stérile, que nous abordons ce sujet si important, mais, au contraire, pour aider sincèrement au perfectionnement d'une législation, où tous les mérites doivent trouver leur récompense et où les intérêts généraux doivent s'allier équitablement aux intérêts particuliers.

III. Tout d'abord que veut-on dire par droit de suite aux inventeurs?

Là-dessus, même le professeur de droit J. Barthélemy n'a voulu ou pu fournir aucune précision, pas

plus d'ailleurs que le polémiste L. Klotz, protagoniste de la réforme; M. L. Klotz, dont on attendait avec curiosité les explications en dehors d'une complaisante nomenclature d'adhésions, de principe de personnalités politiques ou scientifiques, n'a donné lecture que d'un vœu: « à la déchéance du brevet, l'inventeur aura un droit de suite sur l'invention; ce droit et son application seront définis et réglementés par des compétences! » Pas d'autres précisions; une définition, un vœu vague et c'est tout!

C'est qu'en effet, si l'affirmation d'un droit de suite est facile à exprimer, la difficulté commence dès qu'il s'agit de la définir et d'en régler les modalités d'application.

D'autres orateurs ont été cependant, mais toutefois pas davantage sur la question précise et capitale du fameux droit de suite, plus positifs sur les réformes préconisées.

Ils ont affirmé la nécessité de réaliser immédiatement le brevet international, besogne facile ont-ils affirmé, en supprimant la plupart des formalités, qui ne servent qu'à enrichir l'Etat. Ils ont proclamé l'urgence d'une unification internationale de la législation industrielle et, pour arriver à ce résultat, il faut, disent-ils, dénoncer la Convention internationale d'Union de Paris de 1883.

On élaborera, sous l'égide de la Société des Nations par exemple, une loi générale aussi simple que possible, à la rédaction de laquelle ne collaboreraient ni les parlementaires, ni les fonctionnaires, ni même les juristes, mais exclusivement les savants, les techniciens, les praticiens de l'industrie et du commerce.

Dans chaque pays, une section nationale sera constituée avec ces éléments; ces sections prépareront un projet qu'une section internationale constituée sur les mêmes errements unifiera et imposera à l'univers.

On supprimera toutes les déchéances; déchéance pour divulgation antérieure, afin de permettre les communications aux corps savants, de faciliter la mise au point des découvertes, déchéance pour non exploitation, déchéance pour non-paiement des annuités; on supprimera en outre les taxes qui frappent abusivement les inventeurs et qui ne rapportent que quelques négligeables millions à l'Etat, lequel pourra assurer les services de la propriété industrielle avec d'autres ressources.

D'autre part, comme la durée des brevets est insuffisante en général pour enrichir l'inventeur, on doublera la durée de ceux-ci pour faire profiter l'inventeur des profits escomptés.

Enfin on supprimera les causes de nullité, on étendra le domaine des découvertes brevetables, notamment aux produits pharmaceutiques etc.

IV. — L'exposé de ce programme de réformes suffit à lui seul à en souligner la puérilité.

Le brevet international recherché passionnément depuis plus de trente ans offre des difficultés presque insurmontables, du fait de la diversité des législations,

diversité non seulement des formalités imposées, mais surtout des principes qui forment la base des différents systèmes employés et auxquels tiennent naturellement et pour des motifs différents les divers pays.

On s'est efforcé, avec une bonne volonté réciproque, depuis 1880, notamment, d'améliorer dans le sens d'une unification progressive les législations industrielles. La Conférence de Paris de 1883 a apporté la première pierre; d'autres conférences ont suivi, et la dernière, en 1911 à Washington, a réalisé, à la suite des efforts faits dans l'intervalle, au cours des nombreux congrès nationaux et internationaux, des progrès non négligeables. Des associations puissantes, dans les pays les plus importants, composées d'ingénieurs, de savants, de techniciens de toutes catégories, d'industriels, de commerçants, de juristes spécialisés, d'économistes, tous gens compétents et désintéressés, se sont efforcées d'aplanir les difficultés et d'améliorer dans le sens de l'unification recherchée les législations. L'Association internationale pour la Protection de la Propriété industrielle, sous l'impulsion de Pouillet, avait organisé des sous-groupes dans presque tous les pays. Elle se reconstitue, et le soussigné a l'honneur d'être membre du bureau du groupe français, lequel s'efforce de renouer la tradition, malgré les difficultés actuelles.

Pendant la guerre, les conférences tenues entre alliés, de 1916 à 1919, ont tenté de réaliser, à défaut de brevet international, le brevet interallié, destiné à constituer le cadre du futur brevet unique internationaux. Elles ont échoué, malgré leurs loyaux efforts. En tous cas, le pire remède serait la dénonciation d'une convention internationale, imparfaite, certes, mais perfectible, et dont les améliorations ont été le fruit de tant d'efforts, de tant de patiente persévérance, eu égard à l'indispensable unanimité des participants.

Nous retomberions dans le chaos, avec, en fonction des divergences politiques et économiques, nul espoir d'en sortir de si tôt, si nous avons la folie de dénoncer la Convention internationale.

Quant à la constitution de comités d'études nationaux par des savants et des techniciens, à l'exclusion des fonctionnaires, des juristes et des ingénieurs-conseils, rompus à la pratique de ces questions complexes, connaissant à fond les diverses législations, les raisons du maintien ou de l'exclusion de certaines prescriptions imposées par les besoins économiques, c'est de l'enfantillage.

La suppression des nullités et déchéances ne supporte pas davantage l'examen, sauf peut-être celle édictée pour défaut d'exploitation au bout d'un certain délai, combattue aujourd'hui par la plupart des spécialistes, qui préféreraient y voir substituer le système de la licence obligatoire.

Quant à la prolongation de la durée des brevets, on sait que le projet de réforme français de la loi de 1844 l'étend à vingt ans au lieu de quinze. Le soussigné en est particulièrement partisan et a soutenu, devant le dernier Congrès de la Propriété industrielle tenu avant la guerre à Lyon en juillet 1914, un rapport en ce sens.

Sur ce point aussi, il faut réformer avec prudence, tenir compte, d'une part, des dispositions des législations étrangères, dont la plupart n'assurent pas cette durée, dont aucune ne la dépasse, même aux Etats-Unis; d'autre part, de la nécessité, dans l'intérêt de l'industrie, de ne pas empêcher les perfectionneurs successifs et légitimement impatients, de mettre à jour et d'exploiter leurs découvertes.

Quant aux taxes, ce n'est pas au moment que, péniblement, l'Etat assure ses services les plus indispensables, qu'il vient de créer l'Office national de la Propriété industrielle, de le doter de la personnalité civile, de rechercher précisément dans l'intérêt des inventeurs de lui donner les moyens de s'organiser puissamment, à l'instar des autres pays, plus riches et plus généreux, qu'il faut le priver des ressources légitimes qui lui sont indispensables.

Le système des taxes progressives, faibles les premières années, puis de plus en plus élevées sans jamais être excessives, constitue un juste tribut sur les profits de l'exploitation des monopoles garantis par l'Etat.

Quant à la non-brevetabilité des produits pharmaceutiques, la discussion sur ce point est trop ingrate pour l'entamer ici; elle soulève de trop graves difficultés pour être traitée aussi laconiquement.

V. — Il y aurait encore beaucoup à dire sur ce sujet inépuisable, abordé si légèrement, mais avec une si complète bonne foi par les représentants du Syndicat des Inventeurs à la Sorbonne le 30 novembre; il est inutile d'insister.

Ce qui vient d'être exposé a montré, ce me semble, le péril de lancer des savants dans l'élaboration des lois. Ils l'ont d'ailleurs bien compris eux-mêmes et se contentent de réclamer ce que tout le monde voudrait qu'on leur accorde : les moyens de travailler, de chercher, de découvrir, c'est-à-dire qu'on leur fournisse des laboratoires organisés, confortables et des traitements suffisants.

C'est là en réalité tout leur désir, le reste n'est que chimère!

Consultez-les, demandez-leur ce qu'ils pensent de ce droit de suite, qui sonne si bien dans la presse, mais ne correspond à rien, et dont les promoteurs sont dans l'impossibilité de donner une définition précise, et à plus forte raison d'élaborer les conditions d'attribution.

L'expérience du droit de suite aux artistes, qui se

conçoit d'ailleurs tout différemment, n'a procuré que des désillusions aux auteurs alléchés, que d'illusoire profits.

La réforme a été dans l'application contre l'intérêt de ceux qui en devaient bénéficier.

Les prix de vente des œuvres des Millet, des Meissonier, des Degas et de quelques autres notoriétés posthumes, sont des exceptions.

Combien d'œuvres achetées sous l'empire d'un engouement momentané, baissent, au contraire, de prix peu après, deviennent invendables. Va-t-on, dans ce cas, faire reverser la différence à l'artiste ou ses héritiers?

Nul n'ignore que les intermédiaires, soucieux d'échapper à l'impôt, craignant d'être écrasés par le jeu des taxes, qui ne tiennent aucun compte de leurs frais généraux, de leur parfois longue attente, des commissions payées, des frais d'amortissement, des risques courus, ne cherchent plus à pousser les prix, vendent sous le manteau et paralysent le marché des œuvres d'art.

VI. — En résumé, beaux projets chimériques, qui ne comportent que des inconvénients : exciter des passions chez de braves gens, leur donner l'appât du gain, en tuant le chercheur, le « curieux qui s'amuse », pour rappeler le mot célèbre de l'illustre Claude Bernard, leur préparer des désillusions cruelles; et surtout beaux projets décevants, qui, maintenus, empêcheraient la réalisation escomptée prochaine d'une réforme attendue depuis soixante-quinze ans, réforme qui moderniserait au profit des inventeurs la vieille législation française, qui, il ne faut pas l'oublier, a servi de modèle au monde entier.

Et si les chercheurs, les inventeurs, qui ne font pas tous partie du Syndicat des Inventeurs, qui sont partout : chez l'ouvrier, chez le bourgeois, chez le savant, chez le mécanicien, à l'atelier, dans la rue, au bureau, au fond des campagnes, sur terre, comme sur mer, veulent profiter de leurs découvertes, qu'il n'attendent rien du projet puéril dont on les abuse; qu'ils prennent tout simplement des brevets d'invention, comme le grand savant Georges Claude, lequel avec les profits qu'il en retire, est devenu le mécène des laboratoires, où s'élabore le progrès.

FERNAND-JACQ,
Docteur en droit,
Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Législation, jurisprudence, réglementation

Projet de loi concernant le régime téléphonique.

Ainsi que nous l'annonçons dans notre numéro du 21 janvier 1922, t. XI, p. 25 B, un projet de loi concernant la réforme des tarifs téléphoniques a été déposé à la séance du 12 janvier 1922 par le ministre des Travaux publics et le ministre des Finances. Les principales dispositions de ce projet de loi sont les suivantes :

I. — Le régime à conversation taxée, actuellement en vigueur dans la majorité des réseaux départementaux, est étendu aux villes encore dotées du régime forfaitaire.

Le prix de l'abonnement comprend :

1^{re} Une somme correspondant à l'intérêt et à l'amortissement de l'outillage qui varie avec l'importance du réseau ;

2^o La valeur d'un nombre minimum de communications locales. En sus de ce nombre, les conversations sont taxées. Les « pas libres » et les communications erronées ne seront pas enregistrés.

La taxe, maintenue à 0,25 fr dans les cabines publiques, est abaissée pour les abonnés à 0,20 fr à Paris et à 0,15 fr dans les départements.

Les tarifs proposés sont les suivants :

1^{re} catégorie (200 abonnés au maximum). Redevance fixe, 125 fr. Valeur du minimum de communications locales : 1^{re} et 2^e années, 500 communications à 0,15 fr, soit 75 fr ; 125 fr années suivantes. Total : 200 fr et 125 fr.

2^e catégorie (201 à 2 000 abonnés). Redevance fixe 125 fr. Valeur du minimum de communications locales : 500 communications à 0,15 fr, soit 75 fr. Total : 200 fr.

3^e catégorie (plus de 2 000 abonnés, sauf Paris) redevance fixe 200 fr. Valeur du minimum de communications locales : 500 communications à 0,15 fr, soit 75 fr. Total : 275 fr.

Taxe des communications locales en sus à 0,15 fr.

4^e catégorie (Paris), redevance fixe 250 fr. Valeur du minimum de communications locales : 500 communications à 0,20 fr, soit 100 fr. Total : 350 fr.

Taxe des communications locales en sus à 0,20 fr.

Postes supplémentaires de toutes catégories. Total : 60 fr.

II. — La contribution initiale exigée depuis 1920 des nouveaux abonnés (700 fr à Paris, 450 fr à Lyon, 60 fr par hectomètre dans les autres réseaux), sera progressivement réduite, puis supprimée, au fur et à mesure que l'extension de l'outillage permettra de rattacher un plus grand nombre de nouveaux abonnés.

A titre transitoire, le minimum de communications locales, dont la valeur est incorporée à l'abonnement, sera provisoirement fixé à 1 500 ou 1 000 dans certaines villes pour éviter un afflux trop brusque des demandes d'abonnement. Il sera ensuite progressivement réduit à 500, chiffre qui correspond à la consommation des plus petits usages.

L'appareil sera fourni gratuitement par l'Administration.

III. — Il sera consenti aux gros usagers, sur la valeur des communications taxées une remise de 10 pour 100 sur les sommes comprises entre 100 et 200 fr par mois, et de 20 pour 100 sur les sommes au delà de 200 fr.

En outre, des postes « spécialisés » pourront être souscrits par eux à des tarifs réduits pour l'usage exclusif de la ligne dans un seul sens (émission ou réception).

Les taxes interurbaines seront l'objet d'une revision d'ensemble.

Sur l'application de l'impôt sur les camions automobiles.

Dans le « Journal officiel » du 13 janvier 1922, ont été publiées à ce propos, page 25 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse qui suivent :

11 445. — M. Géo-Gérald, député, expose à M. le ministre des Finances qu'un contribuable possesseur de camions automobiles qu'il déclare au fisc, en conformité des certificats de reconnaissance délivrés par le service des mines compétent, se voit dresser procès-verbal par la régie sous prétexte de déclaration en chevaux, soi-disant inférieure à la puissance réelle, malgré certificat conforme délivré par le seul service compétent responsable, et demande si un agent de perception, en l'espèce le chef de service de la régie, est en droit d'imposer d'autorité, dès lors arbitrairement, sa décision comportant une surcharge fiscale importante, en contradiction avec les résultats de la vérification du service technique compétent, menaçant de poursuites le contribuable de bonne foi s'il n'exécute pas, ou de demander avec ou sans raison technique une contre-vérification. (Question du 22 décembre 1921.)

Réponse. — La puissance imposable des véhicules automobiles est déterminée par les constatations du service des mines, et un contribuable qui souscrit sa déclaration d'après les éléments du procès-verbal de reconnaissance établi par ce service ne peut être l'objet d'un procès-verbal. Mais lorsque les agents chargés de l'assiette de l'impôt ont des motifs de croire qu'une erreur d'évaluation a pu être commise, ils ont le devoir de provoquer, par la voie administrative, un nouvel examen des organes moteurs.

Le droit de timbre sur les accusés de réception des chèques.

Le « Journal officiel » du 13 janvier 1922 publie à ce propos, page 26 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse suivantes.

11 550. — M. Grinda, député, demande à M. le ministre des Finances, comme suite à sa question n° 11 391 du 12 décembre, si les accusés de réception de chèques sont passibles d'un droit uniforme de 0,25 fr, quel que soit le montant des chèques, en vertu du deuxième alinéa de l'article 55 de la loi du 25 juin 1920 ou si, au contraire, le timbre doit être de 0,50 fr quand le montant des chèques reçus dont on accuse réception est compris entre 100 et 1 000 fr et de 1 fr quand le montant des chèques est supérieur à 2 000 fr. (Question du 23 décembre 1911.)

Réponse. — Le paiement en chèques est assimilable au paiement en espèces et l'accusé de réception donné par le créancier constitue pour le débiteur un titre de libération. Cet accusé de réception, équivalent à un reçu de somme, est passible du droit de timbre de quittance au tarif gradué déterminé par le montant des chèques auxquels il s'applique.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 7.

18 FÉVRIER 1922.

Chronique. — A propos de la méthode de calcul de N.-R. Gibson pour la mesure des débits d'eau. — Société française des Electriciens. — Elections à l'Académie des Sciences, p. 217-218.

Section scientifique et technique. — Contraction de Lorentz et relativité (*suite et fin*), par F. GUERY, p. 219. — Revues, analyses et informations : Remarque sur la théorie de l'oscillographe, p. 232; Note sur la relation entre la constante diélectrique, la perméabilité magnétique et la vitesse de la lumière, p. 232; Réponse à l'article « Discussion théorique de la méthode de mesure des débits de N.-R. Gibson », p. 233.

Section industrielle. — Protection des réseaux à courants alternatifs par les systèmes sélectifs automatiques Ferranti, par Paul TESTARD, p. 235. — Sur les turbines à gaz et à pétrole, par Jules DESCHAMPS, p. 241. — Revues, analyses et informations : Système de commande multiple pour véhicules électriques, p. 244; Nouveau type d'isolateur à suspension, p. 249.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Compagnie générale d'Electricité, p. 251.

Section de législation. — Les impôts en vigueur pour 1922, par FERNAND-JACQ, p. 253. — Législation, jurisprudence, réglementation : Arrêt de la Cour d'Appel de Paris concernant le paiement des chèques, p. 255; Jugement du Tribunal civil de la Seine concernant la rupture brusque du contrat par l'employeur, p. 256.

A propos de la méthode de calcul de N.-R. Gibson pour la mesure des débits d'eau. — L'article de Karlsson, qu'on lira plus loin (p. 233) et qui constitue une réponse aux critiques de M. Dubs (*R. G. E.*, 1^{er} octobre 1921, t. X, p. 626) sur la méthode de mesure des débits de Gibson était engagé dans la mise en pages quand nous avons eu connaissance de la réfutation de M. Gibson lui-même à ces critiques. Cette note a paru dans « Schweizerische Bauzeitung » du 14 janvier 1922 et nous en donnons ci-dessous la teneur.

« Je n'ai pas encore eu le temps de mettre au point l'article relatif à ma méthode de mesure des débits des liquides, mais je dois en attendant relever trois erreurs essentielles dans l'interprétation de M. Dubs : 1^o d'avoir adopté la différence entre la pression normale et la pression maximum comme mesure de la vitesse détruite; 2^o d'avoir voulu, dans ses calculs, prendre en considération la vitesse de fermeture de la vanne (il a supposé que la fermeture se faisait d'un mouvement uniforme); 3^o d'avoir admis que le temps était mesuré à part au moyen d'un compteur à secondes ou d'un chronographe ».

Sans vouloir, pour le moment, discuter et réfuter les calculs de M. Dubs, M. Gibson se contente de dire que « pour l'application de la nouvelle méthode, il faut enregistrer un graphique donnant avec précision les variations de pression en fonction du temps, variations qui se manifestent dans une conduite dont le liquide est amené au repos. Ce diagramme est justement fourni par un

appareil inventé spécialement dans ce but et qui enregistre, par une méthode photographique, les déplacements du ménisque d'une colonne de mercure contenue dans l'une des jambes d'une jauge en U, qui note à chaque instant la pression du liquide dans la conduite; ce diagramme est coupé par les tops d'un pendule battant la seconde, de sorte que l'on obtient simultanément l'inscription de la pression et du temps. C'est alors l'aire du diagramme pressions-temps qui sert à la mesure de la vitesse au moment de la fermeture, vitesse qui semble tout au moins indépendante du coup de bélier maximum, de la vitesse de fermeture de la vanne, ou de la mesure séparée du temps au moyen d'un compteur à secondes ou d'un chronographe. »

M. Dubs répond de nouveau qu'il y a lieu de faire à l'exposé de Gibson les mêmes remarques qu'à celle de Karlsson, à savoir que tous les ouvrages sont d'accord pour reconnaître que la grandeur du coup de bélier consécutif à la manœuvre d'un organe de fermeture peut servir de mesure à la quantité d'eau débitée.

Société française des Electriciens : Séance du 1^{er} février 1922. — Au cours de la dernière séance, M. Vedovelli avait exposé une méthode pour étudier la répartition du potentiel le long d'une chaîne d'isolateurs à suspension. M. JANET, au début de la séance du 1^{er} février 1922, rappela que le Laboratoire central d'Electricité employait pour faire de telles études une méthode de zéro qui a été décrite par MM. Dachary, ingénieur à la Compagnie des Chemins de fer du Midi, et de La Gorce, chef de travaux au

Laboratoire central d'Électricité dans une communication qu'ils firent le 3 novembre 1920, à la Société française des Électriciens.

Après l'exposé de M. Janet, la parole fut donnée à M. Marius LATOUR qui fit une très importante communication « Sur l'intercommunication entre centrales ».

Le développement considérable que prennent en France les grands réseaux de distribution d'électricité sur lesquels plusieurs centrales peuvent débiter en parallèle, entraîne la nécessité d'une communication sûre de ces centrales entre elles et avec les différents postes de transformation des réseaux.

Cette communication peut se faire soit par des lignes téléphoniques ordinaires, soit par les lignes de transport d'énergie elles-mêmes au moyen de courants à haute fréquence. M. Marius Latour étudia successivement ces deux cas.

Dans le cas où des fils spéciaux sont utilisés pour les relations téléphoniques, ils sont généralement montés sur les mêmes pylônes que les conducteurs de transport d'énergie; ils sont donc soumis à des perturbations dues à l'induction de ces lignes.

Pour éliminer ces perturbations, M. Marius Latour indiqua un procédé qui consiste à amplifier considérablement au poste émetteur les courants téléphoniques, qui de ce fait dominent les courants induits parasites. Au poste récepteur on réduit l'amplitude des courants téléphoniques à une valeur convenable pour une bonne audition; les parasites sont réduits dans la même proportion et deviennent ainsi complètement négligeables. Le conférencier décrit plusieurs procédés pour obtenir les conditions optima d'exploitation et signala en particulier plusieurs montages de postes à lampes et l'emploi de lignes artificielles.

L'idée d'utiliser pour la téléphonie la modulation de courants à haute fréquence fut émise en 1886 par M. Maurice Leblanc. En 1900, M. Turpain reprit la même idée en y ajoutant l'emploi du détecteur. Enfin, M. Neu proposa le premier l'emploi des courants à haute fréquence pour la signalisation en utilisant comme conducteurs les lignes de transport d'énergie elles-mêmes.

Mais on peut dire que ce sont les lampes à trois électrodes seules qui ont fait entrer ces idées dans le domaine de la pratique en permettant d'obtenir des fréquences de 1 000 000 p. s.

Les appareils d'émission et de réception n'ont rien de particulier, ils sont semblables à ceux utilisés en téléphonie sans fil.

Le mode d'attaque de la ligne de transport d'énergie peut se faire de différentes façons: soit par conducteurs parallèles à la ligne de transport; dans ce cas, c'est la capacité entre la ligne et l'antenne qui entre en jeu; ce système est d'installation rapide et peu coûteuse, il a l'inconvénient de prendre la terre comme conducteur de retour, la surface embrassée par le circuit à haute fréquence est très grande et des perturbations sont à craindre.

On peut encore attaquer par des capacités, un conducteur servant à l'aller et un autre de retour; la surface embrassée est faible et les perturbations sont moindres. Un troisième moyen consiste à faire la liaison par des transformateurs à haute tension; une quatrième solution est d'utiliser les

bobines de protection de la ligne qu'on entoure d'un nombre de spires suffisant. Enfin un système permet d'éviter toute perturbation; on attaque par capacité, mais en utilisant un conducteur pour l'aller et deux pour le retour; on évite ainsi toute perturbation due à la ligne elle-même ou à l'extérieur; l'équilibrage est parfait.

M. Marius Latour termina sa très importante communication en indiquant plusieurs montages pour postes de téléphonie à haute fréquence.

M. SAGET fit ensuite une communication de grand intérêt « sur la purification électrique des gaz ».

Il rappela tout d'abord les principes sur lesquels repose la précipitation électrique des poussières solides ou liquides⁽¹⁾.

Il décrivit ensuite les appareils utilisés. L'appareil de précipitation lui-même est constitué le plus généralement par un cylindre métallique dans l'axe duquel se trouve un fil porté à un potentiel négatif par rapport au cylindre. Ce fil peut avoir une section à arêtes vives pour augmenter son pouvoir d'ionisation.

La partie supérieure du cylindre est légèrement évasée pour éviter les amorçages d'arcs entre le fil et le cylindre par suite de la pression électrique; la hauteur des cylindres varie de 5 à 6 m et leur diamètre est d'environ 40 cm. On peut dans certains cas remplacer ces cylindres par des plaques entre lesquelles sont tendus des fils.

Le courant d'alimentation doit être à haute tension et non alternatif. Les tensions employées sont de 50 000 v environ, mais peuvent, dans certains cas, atteindre 100 000 v.

On utilise pour obtenir les courants nécessaires, des transformateurs à haute tension et des redresseurs; ces redresseurs sont, soit des appareils synchrones, soit des soupapes thermoioniques ou kénotrons.

Les applications de la purification des gaz s'étendent de plus en plus: elle est utilisée en France pour la précipitation des vapeurs d'acide sulfurique, à la Poudrerie d'Angoulême en particulier, dans des usines de broyage de talc, dans les usines à carbure, pour la préparation de l'acide nitrique synthétique, pour purifier les gaz de hauts fourneaux, pour la captation des bactéries.

M. Saget termina sa très intéressante conférence par une série d'expériences les plus concluantes: précipitation de talc et de chlorure d'ammonium.

H. C.

Elections à l'Académie des Sciences. — A la séance du 6 février 1922 de l'Académie des Sciences a eu lieu l'élection de M. Gustave FERRIÉ, comme membre de la Section de Géographie et de Navigation, en remplacement de M. Alfred Grandidier, décédé.

Au premier tour de scrutin, le nombre de votants étant de 57, M. Gustave Ferrié obtint 52 suffrages; M. Eugène Fichot, 2; M. Jean Tilho, 2 et M. Edmond Perin, 1.

M. Gustave Ferrié a donc été proclamé élu à la majorité des suffrages.

Rappelons, d'autre part, qu'à la séance du 30 janvier 1922, de l'Académie des Sciences, M. Maurice D'OCAGNE a été proclamé élu membre de la division des Académiciens libres, en remplacement de M. J. Carpentier, décédé.

(1) Voir l'article « La purification électrique des gaz », par J. SAGET, *R. G. E.*, 9 février 1918, t. III, p. 227-232.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Contraction de Lorentz et relativité (Suite et fin)

L'auteur a montré, dans la première partie de cette étude⁽¹⁾, que, dans l'hypothèse de l'existence d'un milieu de transmission de toutes les forces, la contraction de Lorentz doit être considérée comme une réalité. Il s'attache, dans cette seconde partie, à dégager les conséquences de cette contraction pour la cohésion, la gravitation et l'électromagnétisme. Certaines de ces conséquences, qui sont d'accord avec la théorie de la relativité, se rattachent d'autre part à des théories antérieures.

DEUXIÈME PARTIE

Conséquences de la contraction de Lorentz.

I. La contraction de Lorentz est une propriété de la cohésion. — Dans la première partie de cette étude, nous nous sommes efforcé de montrer que la contraction de Lorentz était bien une réalité. A-t-elle exactement la valeur quantitative que l'on trouve en admettant que le résultat de l'expérience de Michelson soit vérifié à tout ordre d'approximation? Ce n'est pas certain, et l'on peut en douter si l'on remarque que, pour une vitesse de translation égale à la vitesse de la lumière, cette valeur quantitative conduit à l'aplatissement complet de tous les corps. Ce résultat est visiblement absurde s'il ne résulte pas d'une approximation; car les éléments matériels ont beau occuper peu de place dans l'éther, si la vitesse de leur mouvement est telle qu'ils arrivent à se placer tous dans un même plan, ils ne devraient pas perdre, pour cela, leurs dimensions. Mais l'approximation que fait Lorentz en supposant l'éther non modifié par la présence des éléments matériels, qui sont ainsi considérés comme de dimensions négligeables, justifie entièrement ce résultat, au premier abord paradoxal. On peut donc adopter la valeur quantitative de la contraction, correspondant au facteur

$$k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}},$$

dont le degré d'exactitude dépasse certainement celui de toutes les expériences que l'on peut faire à l'heure actuelle.

Ceci posé, nous devons nous demander quelle est l'origine de ce phénomène très général que révèle la contraction de Lorentz. S'il s'applique à tous les corps, comme cela est vraisemblable, il est une propriété de la cohésion, due au mouvement relatif de la matière et de l'éther. La cohésion est la force qui joue le rôle le plus important dans la nature, et, cependant, elle est

peut-être, de toutes celles que nous observons, la moins scientifiquement connue. Les ingénieurs, qui ont à baser sur elle la plus grande partie de leurs calculs, l'ont étudiée empiriquement. Les recherches auxquelles elle a pu donner lieu dans les laboratoires scientifiques n'ont guère non plus dépassé les bornes de l'empirisme. On peut donc considérer comme un fait capital la découverte par Lorentz d'une propriété générale de la cohésion, et il paraît dès lors indispensable de chercher à tirer de cette découverte tous les enseignements qu'elle comporte. Il est même surprenant que cette voie ait été si peu suivie. Cela tient peut-être à la prudence avec laquelle Lorentz a émis son idée de la contraction. La théorie de la relativité est arrivée, et c'est par son intermédiaire que se sont développées les conséquences d'une découverte fondamentale, dont l'importance n'a pas frappé les esprits comme elle aurait dû le faire.

Nous voudrions pouvoir montrer que les résultats auxquels la théorie de la relativité généralisée a conduit Einstein, en ce qui concerne la gravitation en particulier, auraient pu se déduire de la contraction de Lorentz.

Nous ne nous en tiendrons pas d'ailleurs à l'examen de la gravitation et nous étudierons au même point de vue les bases de l'électromagnétisme. Le rapprochement des conséquences que nous tirerons de l'étude de ces deux genres de forces nous sera nécessaire, comme nous le verrons plus loin, pour fixer la loi inconnue de la cohésion. Cette étude aura, de plus, l'intérêt tout particulier de nous amener à considérer l'électromagnétisme sous un jour non pas nouveau, mais au contraire renouvelé de ses origines, et à jeter ainsi un pont entre les conceptions d'Ampère et celles de Lorentz et d'Einstein.

II. Les forces à distance. — Avant d'aborder le fond de cette étude, nous devons tout d'abord faire une remarque générale sur les forces dites à distance.

On a coutume maintenant d'opposer deux idées générales : celle des actions à distance, celle de la pro-

⁽¹⁾ R. G. E., 11 février 1922, t. XI, p. 179-190.

pagation; et on a tendance à considérer ces idées comme inconciliables.

Il y a là, croyons-nous, une exagération. Deux corps éloignés exercent l'un sur l'autre une action gravifique, électromagnétique ou autre; nous savons bien que cette action est propagée par le milieu interposé; mais, pratiquement, l'action réciproque est toujours fonction de la distance des deux corps, en même temps que des autres circonstances du phénomène.

C'est ce qui se produit, par exemple, pour la gravitation. Si l'on s'en tient à la loi de Newton, la gravitation est une force à distance proprement dite, c'est-à-dire qu'elle n'est fonction que de la distance. Si l'on arrive à la loi d'Einstein, au degré d'approximation qui convient dans le cas du mouvement du périhélie de Mercure, on a une force fonction à la fois de la distance et de la vitesse relative des corps agissants.

Dans les idées modernes sur la constitution de la matière, les éléments matériels ayant des dimensions très petites par rapport à leur distance, les actions qui s'exercent entre eux peuvent être considérées comme des forces à distance. Dans cet ordre d'idées, et à un degré d'approximation conciliable avec l'éther de Lorentz, nous dirons donc que la cohésion, l'électromagnétisme, la gravitation, sont des forces à distance fonctions de la vitesse. Malheureusement, pour la cohésion, nous ignorons quelle est la fonction de la distance qui intervient. Mais, grâce à la connaissance de la contraction de Lorentz, nous savons comment agit la vitesse, du moins celle d'un commun mouvement d'entraînement. De plus, en raison de la généralité de cette action, nous pouvons supposer qu'elle est une relation de la matière et de l'éther applicable à tous les genres de forces. C'est-à-dire que nous voudrions essayer de considérer le mode d'action de toutes les forces à distance sous le jour suivant :

1° Chaque espèce de force aurait une valeur fonction de la distance ;

2° Envisageons l'action ainsi exercée sur un élément matériel par d'autres éléments matériels. S'il n'y avait pas à tenir compte de la vitesse, cette action se trouverait en égalant à la force à distance le produit de la masse par une composante convenable de l'accélération. Nous tiendrions compte de l'effet de la vitesse manifesté par la contraction de Lorentz en appliquant à ce produit un coefficient fonction de la vitesse et indépendant de la nature de la force. Nous introduisons ainsi une modification des lois de la mécanique classique.

Il nous restera à préciser deux points :

a) Le mot *distance* n'a pas de sens précis pour une action qui se propage à vitesse finie. Il faudra donc donner une définition de cette distance.

Les ds des relativistes, qu'Einstein appelle *élément de ligne*, que d'autres appellent *intervalle*, ne peut pas, physiquement, jouer le rôle d'élément de distance; il est même à peu près impossible de lui trouver un sens physique. Son utilité mathématique est, par contre, incontestable, puisque, grâce à l'artifice du temps

rendu imaginaire, il joue dans l'Univers à quatre dimensions le rôle *formel* (expression relativiste) de la distance dans la géométrie à trois dimensions et que, de plus, il est un invariant par rapport aux coordonnées définies d'après la transformation de Lorentz. Revenant au point de vue physique, nous ne pouvons attacher à ce rôle d'invariant une bien grande importance. Il est incontestable que les propriétés physiques des corps naturels doivent être indépendantes du système de coordonnées auquel on rapporte leurs positions. Mais que cette indépendance se manifeste par l'invariance d'un symbole mathématique, voilà qui nous paraît bien moins nécessaire, et qui n'est même possible probablement que par le choix ingénieux que l'on a fait du symbole, en se plaçant uniquement à un point de vue mathématique. Il ne nous semble pas indispensable, en effet, que le même phénomène soit apprécié de la même manière par des observateurs en mouvement les uns par rapport aux autres.

Nous en tenant au point de vue physique, nous pouvons donc dire que nous ne connaissons pas d'invariant qui puisse a priori constituer la distance à substituer dans tous les cas à celle de deux points dans l'espace absolu. Nous aurons donc à préciser la nouvelle notion de la distance d'après les conditions physiques que nous envisageons. Nous ne pourrions le faire qu'à un degré plus avancé de notre étude.

b) Cela fait, il restera à trouver la fonction de vitesse à faire intervenir. Si nous connaissions la loi d'action à distance de la cohésion, nous pourrions trouver cette fonction de la manière suivante :

Les éléments matériels entre lesquels s'exerce la force de cohésion sont en mouvement les uns par rapport aux autres suivant une loi inconnue, mais on peut considérer qu'ils oscillent autour d'une position moyenne dont la loi de contraction de Lorentz nous fait connaître la variation en fonction de la vitesse de leur commun mouvement d'entraînement.

Considérons donc deux éléments matériels, figés momentanément dans cette position moyenne, et écrivons l'égalité de la force à distance et du produit de la masse par la composante de l'accélération du mouvement que prendrait l'un d'eux, au moment où nous l'abandonnerions à lui-même. Cette égalité doit être vérifiée quelle que soit la direction de la ligne joignant les deux éléments par rapport à celle du mouvement commun d'entraînement. Comme, par l'effet de la contraction de Lorentz, la distance est fonction de la vitesse de ce mouvement, il suit de là qu'une fonction de cette vitesse s'introduit dans la relation d'équilibre. En écrivant convenablement cette relation, on trouve donc la fonction cherchée.

Mais nous avons supposé connue la loi de la force de cohésion. En réalité, nous serons obligés de faire une hypothèse sur cette loi, et c'est l'application ultérieure à l'électromagnétisme et à la gravitation qui devra nous fixer sur la valeur de cette hypothèse.

On voit donc quelles sont les grandes lignes du programme que nous nous sommes tracé pour déduire de

la contraction de Lorentz les conséquences les plus immédiates qu'elle nous semble comporter. Nous allons maintenant développer ce programme et, dans ce but, nous commencerons par préciser la marche des rayons dans l'expérience de Michelson.

III. Représentation cinématique de l'expérience de Michelson. — Dans cette expérience, le temps qui est constant est celui mis par le rayon pour parcourir le trajet aller et retour de la source à la source. Mais le temps mis par le rayon pour aller de la source au miroir varie avec la direction par rapport au mouvement et n'est pas le même que celui qu'il met pour aller du miroir à la source. Supposons donc un ellipsoïde de Lorentz matérialisé par une surface réfléchissante intérieure. Les différents points de l'ellipsoïde ne sont pas atteints simultanément par les rayons issus simultanément de la source.

D'autre part, la relation

$$t = \frac{l + l'}{V} = C^0,$$

montre que le lieu dans l'éther fixe des points de réflexion des rayons issus simultanément de la source mobile, et s'y retrouvant simultanément après réflexion, est un ellipsoïde de révolution ayant pour foyers les deux positions du foyer lumineux au départ et au retour des rayons. Son grand axe est donc dirigé suivant la trajectoire du foyer lumineux.

Nous pouvons matérialiser cet ellipsoïde, que nous appellerons *ellipsoïde de Poincaré* ⁽¹⁾, comme nous avons matérialisé celui de Lorentz, et nous ferons correspondre les dimensions de ces deux ellipsoïdes de manière qu'un rayon partant de la source dans une direction quelconque les atteigne tous les deux en même temps.

L'interprétation que nous avons donnée du résultat de l'expérience de Michelson montre que cette propriété est vraie pour tous les rayons émanant du foyer mobile, quelle que soit leur direction. Ces rayons se réfléchissent tous sur une intersection des deux ellipsoïdes.

En appelant a, b, c , respectivement les demi-grand axe, demi-petit axe et demi-distance focale de l'ellipsoïde de Poincaré, on a les relations :

$$c = \lambda a,$$

$$b = a \sqrt{1 - \lambda^2} = ka.$$

Le facteur d'allongement de cet ellipsoïde est donc

⁽¹⁾ Nous lui donnons ce nom parce que POINCARÉ, dans *Science et Méthode* (p. 239), a indiqué que les ondes sphériques deviennent, pour l'observateur en mouvement avec la source, des ondes elliptiques allongées, ayant leur foyer à la position initiale de la source. M. Edouard Guillaume a développé une théorie dans laquelle cet ellipsoïde joue un rôle important. (Société suisse de Physique, mai-juin 1921.)

égal à l'inverse du facteur d'aplatissement de l'ellipsoïde de Lorentz.

En désignant par a', b', c' les dimensions correspondantes de l'ellipsoïde de Lorentz, on a

$$a'^2 + c^2 = a^2,$$

d'où

$$a'^2 = a^2 (1 - \lambda^2),$$

$$a' = ka = b.$$

Cette dernière relation permet de relier les unes aux autres les dimensions des deux ellipsoïdes (fig. 5).

On peut se représenter de la manière suivante le

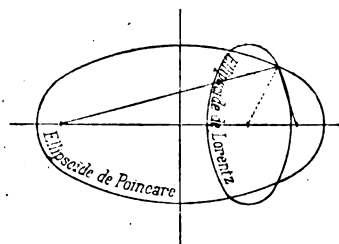


Fig. 5.

mécanisme de la marche des rayons par rapport à ces deux ellipsoïdes.

Supposons leurs surfaces matérialisées. L'ellipsoïde de Poincaré est maintenu fixe, celui de Lorentz se déplace à une vitesse uniforme $v = \lambda V$. Un mobile, représentant un rayon lumineux, part dans une direction quelconque avec une vitesse V au moment où le centre de l'ellipsoïde mobile coïncide avec le foyer de l'ellipsoïde fixe situé à l'arrière par rapport au mouvement. Ce mobile arrivera en même temps sur chacune des surfaces, c'est-à-dire à l'intersection momentanée des deux ellipsoïdes. Si plusieurs mobiles partent simultanément dans des directions diversement inclinées sur la trajectoire de l'ellipsoïde mobile, avec la même vitesse V , ils arriveront toujours sur une intersection des deux ellipsoïdes, mais à des moments différents. Au retour, ils se retrouveront tous en même temps au deuxième foyer de l'ellipsoïde fixe. Il n'y a simultanéité des points de réflexion que pour les mobiles dont les trajectoires sont également inclinées sur la direction du mouvement. Ce mécanisme pourrait être réalisé cinématiquement d'une façon simple en limitant les ellipsoïdes à une ellipse diamétrale. On pourrait ainsi faire comprendre à un public non spécialisé en quoi consiste exactement la contraction de Lorentz et comment elle est rendue nécessaire par l'hypothèse d'un éther absolu et par le résultat de l'expérience de Michelson. La réalisation de ce mécanisme serait facilitée par le fait que le phénomène à mettre en évidence ne dépend que du rapport des vitesses de translation et de transmission. Une vitesse constante ne serait donc pas nécessaire et on pourrait ralentir le

mouvement au moment opportun pour constater les coïncidences intéressantes.

Nous résumerons ce qui précède en disant que les différents points d'un ellipsoïde de Lorentz sont équidistants *en temps aller et retour* du centre de cet ellipsoïde.

IV. Définition de la distance. — Nous pouvons maintenant préciser quelle est la distance qui doit intervenir dans l'application des lois d'action à distance. L'explication suivante de la contraction de Lorentz se déduit, en effet, des développements que nous venons de donner relativement au mécanisme de l'expérience de Michelson.

Nous avons vu que, pour un système en mouvement, les points équidistants, en temps aller et retour, d'un point entraîné dans le mouvement, sont sur un ellipsoïde de Lorentz ayant pour centre le point mobile considéré et l'accompagnant dans son mouvement. Ces points sont également équidistants *en espace aller et retour* par rapport à l'éther fixe, puisque la vitesse de transmission dans ce milieu est constante dans toutes directions.

S'il est bien exact qu'une action réciproque de l'éther et de la matière soit la cause de toutes les forces, celles-ci doivent être déterminées par des déformations et des mouvements par rapport à l'éther fixe. Si, de plus, nous admettons que, pour tous les phénomènes où il y a action réciproque à distance entre corpuscules matériels, ce soient le temps et le demi-trajet aller et retour qui doivent entrer en ligne de compte, les points également attirés par un centre en mouvement sont sur un ellipsoïde semblable à l'ellipsoïde de Lorentz, et non sur une sphère.

Il en résulte qu'un corps matériel composé de corpuscules s'attirant à distance prend, quand il est en mouvement rectiligne et uniforme, une figure semblable à celle qu'il prendrait s'il subissait la contraction de Lorentz. Pour que sa forme soit identiquement celle due à la contraction de Lorentz, il suffit donc d'appliquer un coefficient convenable, qui peut être fonction de la vitesse, mais qui est, en tous cas, indépendant de la direction, à la fonction du demi-trajet aller et retour que l'on substitue à la fonction de la distance des positions simultanées.

La distance à faire intervenir dans les lois d'action à distance serait donc le demi-trajet aller et retour à vitesse V entre les deux corps qui s'attirent, substitué à la distance des positions simultanées. Cette hypothèse est logique. Car il est naturel de supposer que, si un corps A exerce une action à distance sur un corps B par l'intermédiaire de l'éther, la modification ainsi apportée à l'action de contact entre le corps B et l'éther, doit réagir sur le corps A. L'action résultante dépend donc d'un transport réciproque d'action de l'un des corps vers l'autre. Il n'est par suite pas invraisemblable qu'il existe un degré d'approximation ⁽¹⁾ où l'on

puisse faire intervenir des forces fonction du demi-trajet aller et retour entre les centres attirants.

V. Equations du mouvement. — Examinons donc le cas du mouvement de translation d'éléments matériels soumis seulement à la force de cohésion. Un de ces éléments, de masse m , est soumis de la part d'un autre élément situé à une distance réelle r , dans une direction faisant un angle α avec la direction du mouvement, à une force que nous supposons fonction seulement du demi trajet aller et retour r' , substitué à la distance r des positions simultanées, et que nous désignerons par $F(r')$.

Les deux éléments matériels considérés gravitent donc en quelque sorte l'un par rapport à l'autre sous l'action de cette force de cohésion, comme deux astres sous l'action de la force de gravitation.

Si l'un d'eux est en repos par rapport à l'éther, le mouvement de l'autre est défini par la relation suivante dans le cas, que nous examinerons seul pour simplifier l'écriture, où le mouvement a lieu dans un plan

$$(16) \quad m \left[\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 \right] + F(r) = 0.$$

Pour passer au cas où les deux éléments ont un commun mouvement de translation, nous remplacerons r par r' dans $F(r)$ et nous appliquerons à $F(r')$ un coefficient A indépendant de la direction, mais pouvant être fonction de la vitesse. Il nous reste à voir quelles modifications nous devons apporter aux deux autres termes de la relation (16).

Ces deux termes représentent, comme il est facile de s'en rendre compte, le produit de la masse m par la composante de l'accélération donnée à cette masse par la force $F(r)$, produit que nous désignerons sous le nom de force d'inertie. Nous ignorons, au fond, quel est l'effet de la vitesse acquise sur la force d'inertie et, tant que nous n'avons pas fait d'hypothèse sur la modification apportée en général aux forces par le mouvement, nous sommes libres d'en faire sur les modifications à apporter à cette force d'inertie. Nous ne pouvons, en effet, parvenir à connaître que la relation entre la force agissante et la force d'inertie et si, dans cette relation, la vitesse intervient, nous pouvons appliquer la modification qu'elle introduit dans la relation de la mécanique classique soit à la force agissante, cause de l'accélération, soit à la force d'inertie elle-même, soit en partie à chacun de ces termes. C'est, dans une certaine mesure, cet arbitraire qui rend si difficile et si obscur tout ce qui se rapporte au degré d'approximation supérieur introduit dans la mécanique par la nécessité de tenir compte d'un effet de la vitesse.

Dans le cas actuel, nous ne sommes plus entièrement libres de nos hypothèses sur la force d'inertie. Nous

(1) Nous admettons, par exemple, que ce degré d'approximation serait insuffisant pour un problème comme celui de

la déviation des rayons β par le champ magnétique, où le corps en mouvement peut faire une fraction importante de tour, ou même plusieurs tours, pendant la durée d'un trajet aller et retour.

avons, en effet, attribué entièrement à la force agissante tout l'effet de la vitesse fonction de la direction, en remplaçant r par r' dans $F(r)$. Nous devons donc supposer que la force d'inertie doit être indépendante de la direction.

Or, dans un ensemble d'éléments appartenant à un corps qui a subi la contraction de Lorentz, la distance r des positions simultanées est fonction de la direction, alors que le demi-trajet aller et retour r' ne l'est pas. Si, donc, nous écrivons la composante d'accélération sous forme d'une fonction de r , elle deviendra fonction de la direction. r entrant au premier degré dans cette fonction, nous nous conformerons à nos hypothèses en la multipliant par le rapport $\frac{r'}{r}$, ce qui aura pour effet de rendre le terme qui la contient indépendant de la direction. La relation (16) devra donc s'écrire

$$m \frac{r'}{r} \left[\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)^2 \right] + A F(r') = 0.$$

Il ne reste plus qu'à déterminer A pour que le système soit identique à celui qui résulte de la contraction de Lorentz.

Supposons que $F(r')$ soit de la forme $C r'^{-n}$. Nous savons, d'après ce que nous avons vu, dans la première partie de cette étude, à propos de l'expérience de Michelson, que, dans un mouvement de translation rectiligne $\frac{r'}{r} = \frac{1}{k}$.

Nous avons donc

$$m \left[\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)^2 \right] + A k^{n+1} C r^{-n} = 0.$$

Cette relation devant être vérifiée quel que soit k , en particulier pour $k = 1$ (relation 16), on a

$$A k^{n+1} = 1,$$

d'où

$$A = k^{-(n+1)}.$$

Désignons par $f(r)$ la fonction qui représente une force à distance d'origine quelconque s'exerçant au repos sur une masse m .

Supposons maintenant que la masse m et un corps qui l'attire soient animés d'un mouvement commun de translation à vitesse v . Le mouvement relatif de la masse m et du corps qui l'attire sera, d'après ce qui précède, défini par la relation suivante

$$(17) \quad m \frac{r'}{r} \left[\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)^2 \right] + k^{-(n+1)} f(r') = 0.$$

Il nous reste à étudier le cas où le corps attirant est immobile et où la vitesse v est celle de la masse m par rapport à l'éther. Nous examinerons l'application à ce

cas de la relation (17), établie dans celui d'un commun mouvement d'entraînement. Cette extension n'est pas obligatoire, mais elle constitue une hypothèse vraisemblable.

VI. Expression du demi-trajet aller et retour dans des cas déterminés. — Nous nous proposons donc d'appliquer ce qui précède à la gravitation et à l'électromagnétisme, mais auparavant nous allons indiquer la relation entre r' et r dans des cas particuliers qui trouveront leur application dans l'étude de ces deux sortes de forces.

Supposons d'abord qu'il s'agisse de corps dont le mouvement relatif soit rectiligne et uniforme, un de ces corps étant supposé immobile par rapport à l'éther.

On voit de suite que la droite joignant les positions simultanées est la bissectrice de l'angle des deux droites sur lesquelles se meuvent les rayons allant du point mobile au point fixe et revenant de ce dernier au point mobile. Cette propriété résulte de celle de la bissectrice d'un angle d'un triangle de partager le côté opposé en segments proportionnels aux côtés adjacents. La droite joignant les positions simultanées a la direction qu'aurait une droite liée au système mobile et balayant l'espace de manière à rencontrer le point fixe en même temps que le rayon considéré qui émane du point mobile. Cette remarque permet de relier le cas du mouvement relatif à celui du mouvement d'entraînement et tend à justifier, dans le cas envisagé, l'extension que nous voulons faire de l'application au mouvement relatif de la relation (17) établie d'après un mouvement d'entraînement.

On déduit de ce qui précède la relation entre r' et r , qui s'écrit, en désignant par α l'angle de la droite joignant les positions simultanées avec la direction du mouvement relatif :

$$r'^2 = \frac{r^2}{(1 - \lambda^2)^2} (1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha).$$

On peut examiner dans le même ordre d'idées le cas de deux astres entièrement libres de se mouvoir et déviés à chaque instant de la ligne droite par leur attraction mutuelle. En supposant que l'on puisse négliger les puissances de l'aberration supérieures à la deuxième, on trouve que le demi-trajet aller et retour est égal à la distance des positions simultanées.

VII. Application à la gravitation. Mouvement du périhélie de Mercure. — Appliquons ce qui précède à la gravitation :

Considérons un centre attirant, le Soleil par exemple, et un corps attiré, la planète Mercure pour fixer les idées.

Désignons par r la distance des deux corps à l'instant t ; par α , l'angle du rayon vecteur à cet instant avec le rayon vecteur du périhélie; par GM , le produit de la constante universelle de gravitation par la masse du

Soleil. Dans la mécanique classique, les relations qui définissent le mouvement sont les suivantes

$$(18) \quad \begin{cases} \frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)^2 + \frac{GM}{r^2} = 0, \\ r^2 \frac{d\alpha}{dt} = K. \end{cases}$$

La trajectoire est une ellipse ayant le Soleil pour foyer et dont l'équation est la suivante :

$$d\alpha = \frac{-K d\left(\frac{1}{r}\right)}{\sqrt{B - \frac{K^2}{r^2} + 2\frac{GM}{r}}},$$

B et K sont donnés en fonction du demi-grand axe a et de l'excentricité e par les relations

$$1 - e^2 = -\frac{BK^2}{G^2 M^2}; \quad \frac{G^2 M^2}{K^2} = \frac{GM}{a(1 - e^2)}.$$

Enfin la vitesse v de Mercure est donnée par la relation

$$v^2 = B + \frac{2GM}{r}.$$

Appliquons maintenant la relation (17), qui doit se substituer à la première des relations (18) : r' étant égal à r , nous avons simplement

$$\left(1 - \frac{v^2}{V^2}\right)^{\frac{n+1}{2}} \left[\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)^2 \right] + \frac{GM}{r^2} = 0,$$

ou, en négligeant les termes de degré supérieur au carré de l'aberration

$$(19) \quad \frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)^2 + \left[1 + \frac{n+1}{2} \frac{1}{V^2} \left(B + 2\frac{GM}{r} \right) \right] \frac{GM}{r^2} = 0.$$

La seconde des relations (18) est inchangée.

On déduit de la relation (19) et de la seconde des relations (18) la nouvelle équation de la trajectoire

$$d\alpha = \frac{-K d\left(\frac{1}{r}\right)}{\sqrt{B - \frac{K^2 - (n+1) \frac{G^2 M^2}{V^2}}{r^2} + \frac{2GM}{r} \left(1 + \frac{n+1}{2} \frac{B}{V^2} \right)}} \\ = \left[1 + \frac{n+1}{2} \frac{GM}{V^2 a (1 - e^2)} \right] d\alpha,$$

au même degré d'approximation.

Cette trajectoire est une ellipse qui tourne dans son plan de

$$\frac{n+1}{2} \frac{GM}{V^2 a (1 - e^2)},$$

par unité d'angle.

Leverrier (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XLIX, p. 379) a trouvé $+ 38''$ pour le déplacement du périhélie de Mercure non expliqué par les perturbations dues aux autres planètes. La valeur entière de n qui conduirait au chiffre le plus voisin de celui de Leverrier est

$$n = 4.$$

Ce résultat est en désaccord avec celui auquel conduit la théorie de la relativité généralisée d'Einstein et qui exige

$$\frac{n+1}{2} = 3,$$

d'où

$$n = 5.$$

Si l'on rapproche ces deux résultats du chiffre expérimental de Leverrier, on trouve que $n = 4$ donne plus de $35''$ pour le déplacement séculaire du périhélie, soit moins de $3''$ d'écart en moins par rapport au chiffre de Leverrier, alors que $n = 5$ donne environ $43''$, soit $5''$ en plus du chiffre de Leverrier.

Mais il ne faut pas attacher trop d'importance à ces écarts entre les résultats de la théorie et ceux de l'expérience, d'autant plus que le mouvement non expliqué du périhélie est lui-même le résidu d'un mouvement environ dix fois plus considérable. On explique celui-ci, pour la partie principale, par les perturbations dues aux autres planètes, c'est-à-dire, somme toute, également par une théorie que nous savons maintenant avoir besoin de retouches légères. Ce n'est donc pas manquer de respect à l'astronomie que d'accepter un écart de $5''$ par rapport au chiffre de Leverrier.

Nous pouvons donc conclure de cet examen du cas de la gravitation que l'expérience nous laisse le choix entre les valeurs $n = 4$, et $n = 5$, la deuxième de ces valeurs étant celle qui s'accorderait avec la théorie d'Einstein.

VIII. Application à l'électromagnétisme. Formule de Gauss déduite de la théorie d'Ampère.

— Il nous reste à appliquer les mêmes considérations à l'électromagnétisme, c'est-à-dire au cas de deux charges électriques en mouvement relatif. Dans la théorie de Lorentz, une charge en mouvement est accompagnée de deux champs, son champ électrostatique inchangé et un champ magnétique fonction de la vitesse du mouvement. Or l'application de la formule (17) au cas de charges en mouvement va nous conduire à une modification de l'action de la charge en fonction de la vitesse du mouvement, modification qui ne peut pas se superposer à celle qui constitue le champ magnétique. Donc, ou bien cette modification constitue elle-même entièrement le champ magnétique, ou bien il faudra trouver une nouvelle expression de celui-ci. Cette dernière éventualité introduirait une complication intolérable dans les théories électromagnétiques; elle doit donc être, autant que possible, écartée. La première, au contraire,

est loin de constituer une nouveauté dans l'histoire de la science. Elle a donné lieu à deux théories, celle de Gauss et celle de Weber, par application de la célèbre formule d'Ampère relative à l'action entre éléments de courants.

Partant de cette formule et supposant le courant dû à un déplacement de charges électriques, on parvient à une loi d'action entre charges en mouvement relatif. La théorie ainsi poursuivie ⁽¹⁾ montre que deux hypothèses seulement sont possibles pour les valeurs respectives des charges positives et négatives constituant un courant. Ou bien, suivant Gauss, ces charges sont égales et opposées, ou bien, suivant Weber, elles sont inversement proportionnelles au carré de leur vitesse.

Sans nous attarder à discuter la critique faite généralement à la théorie de Gauss au sujet de la conservation de l'énergie, et qui ne nous paraît pas justifiée dans les limites d'application de cette théorie, nous pouvons remarquer que celle-ci s'accorde bien avec l'hypothèse beaucoup plus moderne des électrons.

H désignant le champ électrique d'une charge e en un point M situé à une distance r , dans une direction faisant un angle α avec celle du mouvement à vitesse v de la charge, la formule de Gauss est la suivante

$$H = \frac{-e}{r^2} \left[1 + \frac{v^2}{2c^2} (3 \sin^2 \alpha - 1) \right].$$

La vitesse v est ici la vitesse relative de la charge e et d'une autre charge placée en M .

IX. La théorie de Maxwell conduit à la formule de Gauss. — Cette expression est d'autant plus intéressante qu'on la trouve comme première approximation de l'application de la théorie de Maxwell au mouvement d'une charge. Voici la démonstration de ce fait :

On sait, d'une manière générale, que la théorie de Maxwell, mise au point par Hertz, envisage, dans un espace quelconque, deux circuits tracés respectivement, l'un autour des lignes de force du champ électrique, l'autre autour des lignes de force du champ magnétique. Ces deux champs sont normaux l'un à l'autre. La force magnétomotrice induite le long du premier circuit est la dérivée par rapport au temps, changée de signe, du flux d'induction électrique qu'il embrasse. De même, la force électromotrice induite le long du deuxième circuit est la dérivée par rapport au temps, changée de signe, du flux d'induction magnétique qu'il embrasse.

La théorie de Lorentz permet de préciser les relations que l'on peut déduire de la théorie de Maxwell. Elle attribue, en effet, les phénomènes électromagnétiques au mouvement de particules portant une charge fixe, ou électrons. La charge et les circonstances du mouvement d'un électron étant connues, les variations

du flux d'induction électrique s'en déduisent, et, par suite, le champ magnétique.

Ce champ magnétique subissant lui-même des variations par suite du mouvement, l'application de la théorie de Maxwell doit permettre de trouver une nouvelle valeur de la force électromotrice et, par suite, du champ électrostatique. Cette valeur doit reproduire celle d'où l'on est parti. Si l'on suppose, conformément aux théories d'Ampère et de Gauss, que le champ électrostatique reste dirigé suivant le rayon émanant du centre de l'électron et qu'on applique la théorie de Maxwell au mouvement rectiligne de cet électron, en admettant que le champ électrostatique initial soit indépendant de la direction, considérée par rapport à celle du mouvement, on retrouve au contraire, après l'application de la théorie, un champ électrostatique fonction de la direction. Il est par suite, nécessaire de partir également d'une valeur du champ électrostatique fonction de la direction.

Soit donc :

$$H = - \frac{e}{r^2} f(\alpha),$$

la valeur du champ électrostatique de l'électron en mouvement, exprimée en unités électrostatiques.

Considérons (fig. 6) le circuit compris entre les deux

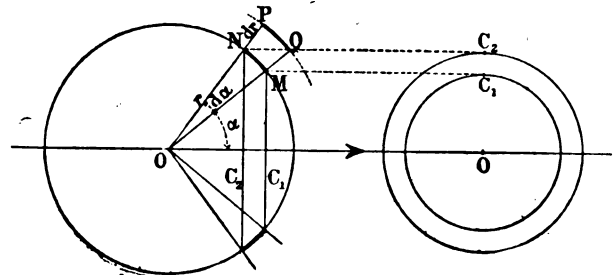


Fig. 6.

circonférences de bases C_1 et C_2 , sur la sphère de rayon r , des cônes de demi-ouvertures α et $\alpha + d\alpha$ ayant pour sommet le centre O de l'électron et pour axe la trajectoire. Le flux d'induction électrostatique à travers l'aire dS limitée par ce circuit a pour valeur, en unités électromagnétiques,

$$\varphi = - \frac{e}{r^2} 2\pi r^2 f(\alpha) \sin \alpha d\alpha,$$

par suite :

$$-\frac{\partial \varphi}{\partial t} = - \frac{\partial H}{\partial t} dS = \frac{e}{r^2} \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial f(\alpha)}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial t} - \frac{2}{r^3} f(\alpha) \frac{\partial r}{\partial t} \right) 2\pi r^2 \sin \alpha d\alpha$$

En remarquant que :

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} = \frac{v}{r} \sin \alpha, \quad \frac{\partial r}{\partial t} = -v \cos \alpha,$$

⁽¹⁾ MAXWELL. *Electricité et Magnétisme*.

cette relation s'écrit :

$$-\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{2\pi ev}{Vr} \left[2f(\alpha) \sin \alpha \cos \alpha + \frac{\partial f(\alpha)}{\partial \alpha} \sin^2 \alpha \right] d\alpha \\ = \frac{2\pi ev}{Vr} \frac{\partial}{\partial \alpha} (f(\alpha) \sin^2 \alpha) d\alpha.$$

Soit \mathcal{H} l'intensité du champ magnétique au point M; ce champ étant évidemment le même en tous les points de la circonférence passant par M, la force magnétomotrice le long du circuit considéré a pour valeur

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} (2\pi r \mathcal{H} \sin \alpha) d\alpha = 2\pi r \frac{\partial (\mathcal{H} \sin \alpha)}{\partial \alpha} d\alpha.$$

Nous avons donc, par application de la théorie de Maxwell au circuit magnétique $C_1 C_2$:

$$(20) \quad \frac{ev}{V^2 r^2} \frac{\partial}{\partial \alpha} (f(\alpha) \sin^2 \alpha) = \frac{\partial}{\partial \alpha} (\mathcal{H} \sin \alpha),$$

Nous poserons

$$\mathcal{H} = \frac{ev}{Vr^2} \chi(\alpha).$$

L'égalité (20) devient ainsi

$$\frac{\partial (f(\alpha) \sin^2 \alpha)}{\partial \alpha} = \frac{\partial (\chi(\alpha) \sin \alpha)}{\partial \alpha},$$

d'où

$$\chi(\alpha) = f(\alpha) \sin \alpha.$$

Le flux magnétique à travers l'aire dS' limitée par le contour MNPQ a donc pour valeur

$$\Phi = \frac{ev}{Vr^2} r d\alpha f(\alpha) \sin \alpha d\alpha.$$

Par suite

$$-\frac{1}{V} \frac{\partial \Phi}{\partial t} = -\frac{1}{V} \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial t} dS' = -\frac{e}{V^2} r dr d\alpha \left[\left(\frac{v}{r^2} \frac{\partial f(\alpha)}{\partial \alpha} \sin \alpha + \frac{v}{r^2} f(\alpha) \cos \alpha \right) \frac{\partial \alpha}{\partial t} - \frac{2v}{r^3} f(\alpha) \sin \alpha \frac{\partial r}{\partial t} + \frac{1}{r^3} \frac{\partial v}{\partial t} f(\alpha) \sin \alpha \right], \\ = -\frac{ev}{V^2 r^2} \left[\frac{\partial f(\alpha)}{\partial \alpha} \sin^2 \alpha + 3f(\alpha) \sin \alpha \cos \alpha \right] dr d\alpha \\ - \frac{e}{V^2 r} \frac{\partial v}{\partial t} f(\alpha) \sin \alpha dr d\alpha.$$

On a donc, par application de la théorie de Maxwell au circuit électrique MNPQ :

$$-\frac{ev^2}{V^2 r^2} \left[\frac{\partial f(\alpha)}{\partial \alpha} \sin^2 \alpha + 3f(\alpha) \sin \alpha \cos \alpha \right] dr d\alpha \\ - \frac{e}{V^2 r} \frac{\partial v}{\partial t} f(\alpha) \sin \alpha dr d\alpha = \frac{\partial H}{\partial \alpha} d\alpha,$$

relation qui, dans le cas du mouvement uniforme, devient :

$$\frac{v^2}{V^2} \left[\frac{\partial f(\alpha)}{\partial \alpha} \sin^2 \alpha + 3f(\alpha) \sin \alpha \cos \alpha \right] = \frac{\partial f(\alpha)}{\partial \alpha},$$

ou

$$\frac{\partial f(\alpha)}{f(\alpha)} = \frac{3 \frac{v^2}{V^2} \sin \alpha \cos \alpha d\alpha}{1 - \frac{v^2}{V^2} \sin^2 \alpha},$$

dont l'intégration donne

$$f(\alpha) = \left[1 - \frac{v^2}{V^2} \sin^2 \alpha \right]^{\frac{3}{2}} \psi(v),$$

$\psi(v)$ étant une fonction de v indépendante de α .

Les deux premiers termes du développement de $f(\alpha)$ sont

$$f(\alpha) = \left(1 + \frac{3v^2}{V^2} \sin^2 \alpha + \dots \right) \psi(v).$$

On trouvera la formule de Gauss en donnant à $\psi(v)$ une expression de la forme

$$\psi(v) = 1 - \frac{v^2}{2V^2} + \dots$$

Le facteur de Lorentz

$$k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$$

peut être, par exemple, une valeur de $\psi(v)$ donnant en première approximation la formule de Gauss.

On voit donc qu'il est très facile de concilier les théories d'Ampère et de Gauss avec celles de Maxwell et de Lorentz.

X. La théorie d'Ampère et la relativité. —

Avant d'aller plus loin, il n'est pas inutile de nous arrêter un instant à la théorie de Gauss déduite de celle d'Ampère, pour examiner quelles conséquences elle peut avoir au point de vue de la relativité. Dans cette théorie, le courant est constitué par des charges égales et de signes contraires, *en mouvement relatif*, et la vitesse qui intervient dans l'expression du courant est la vitesse relative des charges. Cette conception du courant permet de comprendre immédiatement le résultat de certaines expériences qui ont donné lieu, il y a quelques années, à des discussions prolongées, celles de Rowland et celle de Trouton et Noble.

Rowland faisait tourner un plateau portant une charge d'un certain signe en regard d'un plateau fixe portant une charge égale de signe opposé. Les éléments constitutifs d'un courant, d'après la théorie de Gauss, existaient bien dans le cas de cette expérience, et

Rowland constatait effectivement une action sur l'aiguille aimantée.

Dans l'expérience de Trouton et Noble, un condensateur chargé était entraîné dans le mouvement de la Terre et placé dans des conditions telles qu'un couple très faible exercé sur ce condensateur eût pu être décelé. Si l'on considère le courant comme dû simplement au mouvement d'une charge d'un signe déterminé par rapport à l'éther, on raisonnera de la manière suivante :

Considérons deux charges ponctuelles en regard sur les deux armatures. Ces deux charges de signes contraires créent des courants parallèles et de sens contraires qui se repoussent dans une direction normale au mouvement d'entraînement. Il doit donc se produire un couple tendant à orienter le condensateur de telle manière que les armatures soient parallèles au mouvement de la Terre. Trouton et Noble n'ont constaté aucun couple, ce qui s'explique tout naturellement dans la théorie de Gauss ; les charges n'étant pas en mouvement relatif, il n'y a pas de courant.

Les raisons suivantes nous paraissent, d'autre part, justifier l'hypothèse de Gauss, de préférence à celle de Weber.

Si l'égalité des charges en mouvement relatif n'existait pas, les effets du courant devraient être modifiés, par exemple, par un déplacement longitudinal du conducteur. Nous ne connaissons pas d'effet de ce genre. S'il en existait un, il devrait être sensible, même pour de faibles vitesses de déplacement du conducteur ; en effet, il y a de bonnes raisons pour penser que les vitesses des charges dans le courant sont très faibles. Nous allons exposer quelques-unes de ces raisons :

D'expériences sur l'effet Edison, D.-W. Richardson a déduit (*Ions, Electrons, Corpuscles*, p. 595) que le nombre n d'ions négatifs libres dans 1 cm^3 de platine à 1542° absolus était égal à

$$1,3 \times 10^{21}.$$

Dans un conducteur de 1 cm^2 de section, cette quantité s'écoulera en une seconde, si la vitesse est de 1 cm par seconde ; e étant la charge d'un électron, l'intensité de courant δ dans un conducteur de 1 cm^2 de section ou la densité de courant, exprimée en unités électromagnétiques d'intensité, par centimètre carré, a donc pour valeur, en fonction de la vitesse v exprimée en centimètres par seconde,

$$\delta = nev = 1,3 \times 10^{21} \times 1,4 \times 10^{-20} v.$$

soit, en ampères par millimètre carré

$$\delta = 1,82 v.$$

Pour une densité de courant de 100 ampères par millimètre carré, la vitesse ne serait que de 35 cm p. s, ce qui est absolument négligeable par rapport à la vitesse de la lumière.

La vitesse des électrons dans le courant électrique a

été déduite par Boltzmann du phénomène de Hall (H.-A. Lorentz, *L'Eclairage électrique*, 29 juillet 1905). Elle a été trouvée très faible. C'est ainsi qu'on a les valeurs suivantes de v , pour $\delta = 1$ ampère par millimètre carré :

| | |
|--------------|-------|
| Cuivre..... | 0,005 |
| Nickel..... | 0,2 |
| Bismuth..... | 90. |

Deux ordres très différents de phénomènes ont donc conduit à des résultats du même ordre de grandeur pour la vitesse des électrons dans le courant.

Enfin Maxwell, ayant à choisir entre les deux hypothèses, celle faite par Gauss que les charges ont la même valeur absolue, ou bien celle faite par Weber que les charges sont en raison inverse des carrés des vitesses, conclut en faveur de cette dernière hypothèse, prétendant qu'on peut toujours rendre les charges inégales en donnant une charge statique à l'ensemble du circuit et que les forces envisagées, dépendant du mouvement relatif des charges, on devrait, par suite, constater un effet d'un courant sur un conducteur chargé mais non parcouru lui-même par un courant, alors que l'expérience ne paraît pas révéler cet effet. Nous pensons que la réponse à cette objection possible réside dans la remarque, que nous venons de faire, que les vitesses des charges dans les courants sont vraisemblablement très faibles. Par contre, les charges sont très fortes, de sorte que, bien qu'ayant en facteur le rapport du carré de la vitesse des charges à celui de la vitesse de la lumière, l'action qui produit les effets magnétiques peut atteindre des valeurs considérables.

Une charge statique imposée à un conducteur a nécessairement, même appliquée sous un potentiel élevé, une valeur très faible et l'effet d'un champ magnétique sur cette charge doit être, en général, inaccessible aux moyens d'observation. Cet effet paraît toutefois se manifester d'une manière indirecte, en particulier dans la polarisation magnétique, qui doit être un effet du champ sur le diélectrique.

A titre d'exemple, un conducteur sphérique de 4 cm de diamètre, chargé au potentiel de 500 000 v, subirait au centre d'un conducteur circulaire de 10 cm de diamètre parcouru par un courant de 1 000 A, avec une densité de courant de 5 ampères par millimètre carré, un effort de l'ordre du cent millième de dyne.

Nous avons insisté sur les bases de la théorie de Gauss, parce que cette théorie nous paraît d'un intérêt tout particulier pour relier les anciennes idées aux nouvelles. Ampère, Gauss, Maxwell, Lorentz, Einstein, sous des apparences extrêmement variées, sont entraînés par une suite logique d'idées qui s'imposent parce qu'elles ont un fonds commun. C'est à notre avis commettre une faute contre la science que de vouloir opposer leurs théories, plutôt que d'y chercher ce qu'elles comportent d'idées concordantes.

Ces développements étaient d'ailleurs nécessaires pour faire comprendre le résultat auquel nous allons parvenir en appliquant la relation (17) à deux charges,

dont l'une e_1 , immobile par rapport à l'éther, l'autre e_2 , animée d'un mouvement rectiligne et uniforme à vitesse v par rapport à ce même milieu.

D'après la valeur de $\frac{r'}{r}$ établie dans ce cas au paragraphe VI, la relation (17) doit s'écrire

$$m \left(1 - \frac{v^2}{V^2} \right)^{\frac{n+1}{2}} \frac{\left(1 - \frac{v^2}{V^2} \sin^2 \alpha \right)^{\frac{1}{2}}}{1 - \frac{v^2}{V^2}} \left[\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)^2 \right] + \frac{e_1 e_2}{V^2} \frac{\left(1 - \frac{v^2}{V^2} \right)^2}{1 - \frac{v^2}{V^2} \sin^2 \alpha} = 0.$$

ou

$$m \left(1 - \frac{v^2}{V^2} \right)^{\frac{n-5}{2}} \left(1 - \frac{v^2}{V^2} \sin^2 \alpha \right)^{\frac{3}{2}} \left[\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)^2 \right] + \frac{e_1 e_2}{r^2} = 0.$$

Pour que cette relation soit satisfaite, il faut que l'on ait

$$(21) \quad H = -\frac{e_1}{r^2} \left(1 - \frac{v^2}{V^2} \right)^{-\left(\frac{n-5}{2}\right)} \left(1 - \frac{v^2}{V^2} \sin^2 \alpha \right)^{-\frac{3}{2}}.$$

Pour retrouver une expression dont la formule de Gauss soit une première approximation, il faut faire

$$-\left(\frac{n-5}{2}\right) = \frac{1}{2},$$

d'où

$$n = 4.$$

Ainsi, en supposant que la force de cohésion soit en raison inverse de la quatrième puissance de la distance, la théorie que nous venons d'ébaucher conduirait à des résultats cohérents pour l'électromagnétisme et la gravitation, à la condition d'admettre pour le déplacement du périhélie de Mercure un chiffre légèrement inférieur à celui de Leverrier.

Pour obtenir un résultat conforme à la théorie d'Einstein, il est nécessaire, comme nous l'avons vu à propos de la gravitation, d'adopter la valeur $n = 5$. Dans ces conditions, nous pouvons encore satisfaire à la relation (21) en supposant que le mouvement ait pour effet de

multiplier la charge e_2 par $\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$. Cette hypothèse n'est pas invraisemblable. Elle est de même nature que celle faite par Lorentz quand il suppose l'électron déformable et subissant la contraction. Il est probable, en effet, que l'électron est un élément complexe qui doit, par suite, subir la contraction. Si donc sa charge est

proportionnelle à son volume, elle doit être multipliée par le facteur $\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$ (1).

Qu'il s'agisse de gravitation ou d'électromagnétisme, nous avons dû supposer dans ce qui précède qu'un des centres qui s'attirent est fixe par rapport à l'éther. Mais l'application à l'électromagnétisme exige impérieusement que le résultat soit exact d'une manière plus générale. Nous avons, en effet, remarqué que les vitesses des charges dans le courant sont de l'ordre de celles qu'on réalise pratiquement en mécanique. Il faut donc que les relations établies soient exactes, quel que soit le mouvement des conducteurs parcourus par le courant.

Cette condition ne sera remplie que si la vitesse à considérer dans l'effet d'une charge sur une autre charge est, dans tous les cas, celle de leur mouvement relatif. Car, ainsi que nous l'avons remarqué, en rappelant la formule de Gauss, la vitesse qui intervient dans celle-ci pour expliquer les effets magnétiques du courant est la vitesse *relative* des charges.

Dans ces conditions, il est nécessaire que r' s'exprime par la même relation en fonction de r aussi bien si l'un des points attirants est fixe par rapport à l'éther que si tous les deux sont mobiles par rapport à ce milieu. En d'autres termes, le principe de relativité doit s'appliquer à la formule de l'électromagnétisme de Gauss ou à celles dont la formule de Gauss est une approximation. Or, si l'on calcule r' dans le cas du mouvement d'entraînement avec la vitesse v' , ayant la même direction que v par exemple, on voit que la nouvelle valeur de r' se trouvera en remplaçant le rapport $\frac{v}{V}$ par le

rapport $\frac{v+v'}{V}$. Donc, l'espace et le temps étant exprimés en mesures *absolues*, la condition que nous avons reconnue nécessaire n'est pas remplie. Pour qu'elle le soit, on voit sans peine qu'il faut que le soient également les deux conditions d'où la théorie de la relativité restreinte déduit les formules de la transformation de Lorentz :

1° Application du principe de relativité ;
2° Constance (apparente tout au moins) de la vitesse de propagation *par rapport au système mobile* entraînant l'ensemble des charges qui réagissent les unes sur les autres.

Nous arrivons donc à nous convaincre, pour l'électromagnétisme, de l'exactitude de la théorie de la relativité restreinte. Il paraît en résulter la nécessité corrélative d'employer les mesures de temps et d'espace correspondantes ; mais, ici encore, comme dans tous les

(1) E. M. Lemeray (*Le principe de relativité*, Gauthier-Villars, 1916) indique le moyen de déduire entièrement les équations de l'électromagnétisme de la théorie de la relativité restreinte. M. H. Varcollier signale également en passant la possibilité de cette déduction dans une étude remarquable : (Les déplacements dans les champs de vecteurs et la théorie de la relativité ; *Revue générale des Sciences*, 28 février et 15 mars 1918).

cas possibles, cela n'a pas de portée pratique, ces mesures n'ayant d'importance que par comparaison d'un système à l'autre, c'est-à-dire, dans le cas actuel, d'une charge par rapport à une autre charge : on ne se représente pas très bien un observateur attaché à une de ces entités insaisissables individuellement.

L'exactitude de la théorie de la relativité restreinte dans le cas de l'électromagnétisme n'a d'ailleurs rien de surprenant, car les formules de la transformation de Lorentz, qui sont celles de cette théorie, ont été déduites par leur auteur de l'introduction des électrons dans la théorie de Maxwell, et nous avons montré plus haut que la formule de Gauss était une première approximation d'une formule que l'on déduit à la fois de la théorie de Maxwell et des conséquences que nous avons tirées de la contraction de Lorentz.

Il est possible que la même extension à tout mouvement relatif doive être appliquée également au cas de la gravitation, que nous n'avons examiné qu'en supposant un des centres fixes par rapport à l'éther. Il faudrait alors admettre que les relations trouvées s'appliquent au cas où les deux centres qui s'attirent ont un commun mouvement de translation dans l'éther; mais cela n'apparaît pas aussi certain que pour l'électromagnétisme. Si l'on suppose, par exemple, que la vitesse du Soleil par rapport à l'éther soit sa vitesse vers l'apex, ou une vitesse du même ordre, c'est-à-dire probablement comprise entre 10 et 30 km : s, on arrive, en appliquant la relation (17) au mouvement par rapport à l'éther, à une modification un peu grande du mouvement du périhélie, mais qui reste d'un ordre de grandeur acceptable. L'hypothèse ainsi faite, sans être entièrement arbitraire, est, en tous cas, invérifiable, mais il n'est pas interdit de penser que la vitesse du Soleil vers l'apex, qui est du même ordre que celle des planètes par rapport au Soleil, est voisine de sa vitesse par rapport à l'éther. Cela prouverait simplement que l'Univers inclus dans l'éther, et qui doit être en gros immobile dans ce milieu, est bien tout entier celui que nous voyons.

Il reste donc à ce sujet un doute qu'il sera bien difficile de lever, car la précision de la mesure du mouvement du périhélie de Mercure ne s'augmentera que petit à petit, au bout d'un grand nombre d'années d'observations. Et l'on doit s'estimer heureux encore qu'il se trouve une planète observable, très rapprochée du Soleil, ayant par suite une grande vitesse, et dont l'excentricité soit assez grande pour que le périhélie puisse se distinguer d'une façon suffisamment nette des autres points de l'orbite. Sans ce concours de circonstances, nous ignorerions encore qu'il est nécessaire d'apporter une correction à la loi de Newton, et à fortiori quelle doit être la valeur quantitative de cette correction.

XI. Remarque sur les forces centrales. — Absolument rigoureux ou très approché, il est incontestable, d'après ce qui précède, que le principe de relativité est une vérité actuelle, puisque nous ne connais-

sons pas d'expérience qui puisse le contredire. Nous pouvons donc maintenant justifier à posteriori une hypothèse que nous avons faite précédemment et qui consiste à admettre qu'une force centrale au repos reste centrale lorsque les corps qui s'attirent sont en mouvement. Le principe de relativité lui-même nous paraît justifier cette hypothèse, qui en découle tout naturellement. Ampère avait donc raison lorsqu'il établissait une formule d'action entre éléments de courant, dirigée suivant la ligne qui les joint. On peut dire, par suite, que les créations de ce grand précurseur portaient en germe la théorie des électrons et celle de la relativité.

XII. — Résumé et conclusions. — Il nous reste à dégager les conclusions de ce qui précède, tâche délicate, car nous nous sommes permis quelques critiques à l'égard de certaines prétentions des protagonistes de la théorie de la relativité, au moment même où celle-ci se trouve lancée dans le grand public par le succès de ses vérifications expérimentales.

Ce n'est pas de gaieté de cœur que nous avons abordé cette critique ardue : au cours d'études plus générales sur les relations de l'éther et de la matière, que nous n'avons pas le loisir de mettre au point pour les publier, nous nous sommes trouvé dans la nécessité de pénétrer les arcanes de cette théorie mystérieuse, en évitant de faire appel à des notions mathématiques transcendantes, et nous venons dire en toute sincérité ce qui nous arrête sur la voie de l'adhésion sans bornes ; au fond cela peut être résumé en quelques mots.

La théorie de la relativité postule qu'il n'y a pas d'observateur privilégié, que dans tous les systèmes de référence, quels que soient leurs mouvements, les lois physiques restent les mêmes ; sur cette base, elle construit une synthèse grandiose de la physique, édifice admirable et parfaitement ordonné, qui laisse loin derrière lui toutes les tentatives faites dans le même ordre d'idées. C'est, en un mot, un véritable triomphe de la physique mathématique. Une conséquence du postulat primordial est que, s'il y a un éther, il n'y a aucun moyen pour un être humain de déceler son mouvement par rapport à ce milieu. De là à dire que ce milieu insaisissable n'existe pas, il n'y a qu'un pas que franchissent, sans hésiter, quelques disciples, alors que le maître s'arrête prudemment au bord du fossé. Einstein, en effet, a tenu à faire connaître ses idées sur ce point dans un opuscule ⁽¹⁾ où il montre qu'on peut concevoir un éther conforme à la théorie de la relativité généralisée, et où il indique comment cet éther pourrait se déduire de celui de Lorentz.

D'ailleurs, la conséquence précédente du postulat de la relativité n'est qu'un des aspects particuliers d'une conséquence plus générale de ce même postulat, qui est la suivante :

La physique ayant pour but de définir les rapports

⁽¹⁾ A. EINSTEIN. *L'éther et la théorie de la relativité*, traduction Maurice Solovine. Gauthier-Villars, 1921.

entre les mesures des phénomènes, il n'est pas nécessaire de connaître la nature exacte des modifications que peuvent subir les étalons de mesure, mais seulement comment se modifient les rapports des grandeurs mesurées aux étalons de mesure, avec les conditions du mouvement relatif des uns et des autres.

Le principe posé au début veut que ces modifications ne dépendent que des conditions mêmes du mouvement relatif et soient réciproques.

Dans un pareil ordre d'idées, le temps et l'espace absolus, tout comme l'éther, n'ont aucun sens.

Nous ne pouvons admettre un tel postulat sans discuter tout au moins certaines conséquences que l'on prétend en tirer. Il faut, en effet, tout d'abord bien distinguer la possibilité de concevoir et celle de réaliser. Or, sans insister sur le fait, que nous avons mis en lumière, qu'il est pratiquement impossible de mesurer un temps local avec une précision suffisante pour que cette mesure soit utile, nous ferons observer qu'on peut concevoir l'espace et le temps absolus, tout en sachant très bien qu'il n'est pas possible de les mesurer, de même que nous concevons un corps parfaitement rigide, alors que nous savons pertinemment qu'un tel corps n'existe pas.

Nous savons bien ce qu'à cette affirmation opposeront les relativistes, convaincus que leur principe initial porte seul en lui-même toute la force de déduction qui doit conduire à l'énoncé exact des lois physiques; conceptions vaines, disent-ils, puisque votre éther n'est qu'un des systèmes de référence auxquels peuvent être rapportées les mesures physiques, et que ce système est indiscernable des autres.

Ce à quoi nous répondons : pourquoi voulez-vous nous interdire, si cela nous est commode, à nous dont le cerveau n'est pas façonné pour la pure abstraction mathématique, de prendre un de ces systèmes de référence, que nous appelons éther, et de lui faire correspondre un autre système, dans lequel les phénomènes se transmettraient instantanément, et que nous appelons l'espace absolu. Nous n'avons plus alors besoin de faire effort pour comprendre la nouvelle espèce de simultanéité que rend nécessaire la thèse relativiste. Les adeptes de celle-ci nous rendraient même un grand service, et peut-être cela ne leur serait-il pas inutile à eux-mêmes, s'ils voulaient bien mettre sous une forme précise, par des moyens mathématiques, cette correspondance d'un de leurs systèmes de référence avec un espace absolu.

C'est une tentative de ce genre que renferme la première partie de cette étude, dans un domaine limité, et en sens inverse : nous avons cherché à retrouver les relations de transformation de la relativité restreinte en partant du temps et de l'espace absolus et de l'éther y contenu, et en postulant la contraction de Lorentz. Pour parvenir au résultat cherché, il faut admettre que les comparaisons des mesures de temps sont faites comme dans l'expérience de Michelson, c'est-à-dire en comparant des longueurs. Il semble que, pratiquement, il n'y ait pas moyen d'opérer autrement, d'où l'impossibilité

de déceler le mouvement de la Terre par rapport à l'éther.

Dans le même ordre d'idées, il est utile également de tenir compte du point de vue suivant : Comme nous l'avons rappelé au début de cette étude, le physicien a dû, dans l'ignorance des lois intimes de la nature, imaginer certaines entités qui lui ont paru particulièrement susceptibles de mesure : masse, charge électrique, etc... N'aurait-il pas été ainsi amené, par la force même des choses, à choisir ces entités de telle manière qu'avec les moyens de mesure dont il dispose les lois de leurs rapports fussent indépendantes du mouvement du système dans lequel les corps auxquels elles se rapportent se trouvent inclus ?

Il s'est trouvé que ce choix a été possible avec une rigueur absolue pour l'électromagnétisme, peut-être aussi avec la même rigueur pour la gravitation, et, en tous cas, avec une approximation qui dépasse les possibilités actuelles de vérification. La généralisation qui constitue la théorie de la relativité restreinte par rapport à la théorie de Lorentz consiste, croyons-nous, à affirmer que la propriété en question est commune à toutes les entités physiques.

Le succès des vérifications expérimentales de la théorie de la relativité peut faire penser qu'il en est bien ainsi. On conçoit donc l'importance de ces vérifications expérimentales et la nécessité de les soumettre à une critique sévère. C'est dans cet ordre d'idées que nous avons discuté et, pensons-nous, réfuté l'affirmation d'Einstein que l'expérience de Fizeau est un « *experimentum crucis* » de la théorie de la relativité. Mais nous avons déjà eu l'occasion de remarquer qu'Einstein était souvent dépassé par ses disciples dans les affirmations imprudentes, et qu'au moins dans des circonstances récentes il a cru devoir apporter des atténuations à certaines de ces affirmations. Voici encore un exemple de ce fait : au sujet de la vérification de la théorie de la relativité généralisée par le mouvement du périhélie de Mercure, Einstein dit très justement : « Après avoir tenu compte de toutes les influences perturbatrices que les autres planètes exercent sur Mercure, on reconnut (Leverrier en 1859 et Newcomb en 1895) qu'il restait encore à expliquer un mouvement du périhélie de Mercure *qui diffère à peine* des 43 secondes par siècle dont nous avons parlé précédemment. L'écart entre ce résultat empirique et la conclusion de la théorie de la relativité *s'élève au maximum à quelques secondes* » (1).

Nous voici loin du *dixième de seconde* ou de la confirmation *exacte* que certains disciples d'Einstein ont claironnée.

L'histoire de la science n'est pas sans présenter d'autres exemples de ce « déphasage en avant » ; les auteurs les plus sérieux, même le précieux *Recueil des Constantes de la Société de Physique*, ont indiqué comme classique la loi de Lorentz au sujet de la dévia-

(1) *La théorie de la relativité restreinte et généralisée*. Traduction de M^{lle} J. Rouvière.

tion des électrons des rayons cathodiques et des rayons β dans un champ magnétique, bien avant que cette loi ait été vérifiée dans des limites étendues. Les expériences concluantes de MM. Ch.-Eug. Guye et Lavanchy datent seulement en effet de 1915. La science est atteinte dans la plus belle de ses qualités, « la sincérité », par ces procédés imités du journalisme, qui a du moins l'excuse de la nécessité d'information rapide et, par suite, incontrôlable.

Dans le même ordre d'idées, signalons un autre travers de certains savants modernes, et qui consiste dans la prétention d'édifier la physique sans hypothèses. Qu'est-ce donc cependant que l'hypothèse, sinon ce qui permet aux hommes de généraliser leurs sensations ; et comment, par suite, la science pourrait-elle se passer d'hypothèses ? Peut-on même espérer réduire leur nombre en les groupant sous forme de principes très généraux, comme le fait par exemple la théorie de la relativité ? Lorsqu'on examine celle-ci en détail, on y trouve bien des hypothèses implicites, les plus dangereuses de toutes. Nous en avons donné un exemple à propos de l'expérience de Fizeau. Cela prouve que les principes ne suffisent pas à tout expliquer, sans doute parce qu'ils contiennent une trop forte dose d'anthropomorphisme ; c'est là un épisode d'une lutte éternelle ; à l'unité que l'homme recherche dans la nature, celle-ci opposera toujours son infinie variété.

L'étude qui précède contient, enfin, un dernier point de vue, destiné à illustrer cette idée que le fait essentiel de la relativité, associée à l'existence de l'éther, c'est la contraction de Lorentz, et qu'on doit, par suite, arriver à retrouver les conséquences de la théorie de la relativité pour les différents genres de force en partant de cette contraction, et sans avoir besoin de faire intervenir le temps local. Le développement de ce point de vue, exposé sommairement dans une note présentée à l'Académie des Sciences le 2 mai 1921, fait l'objet de la deuxième partie de l'étude qui précède.

Partant de cette remarque que la contraction de Lorentz, paraissant s'appliquer à tous les corps, caractérise par suite une propriété de la cohésion, nous cherchons quelles modifications il est nécessaire d'apporter aux lois du mouvement commençant pour qu'elles puissent rendre compte à la fois de cette propriété, de la modification de la loi de Newton, qui explique le mouvement du périhélie de Mercure, et, enfin, de l'électromagnétisme. De cette étude corrélatrice des trois forces les plus répandues dans la nature, résulte une loi de la force de cohésion, qui serait inversement proportionnelle à la cinquième puissance de la distance. Ce résultat aurait satisfait Boltzmann, la loi de l'inverse de la cinquième puissance apportant des simplifications intéressantes dans la théorie des gaz.

A la théorie ainsi présentée suffit l'éther euclidien de Lorentz, alors qu'Einstein a dû passer par sa théorie de la relativité généralisée, qui comporte implicitement un éther non-euclidien, et par des complications mathématiques considérables, pour trouver la modification

de la loi de Newton qui explique le mouvement du périhélie de Mercure.

Il est naturel d'ailleurs que l'éther de Lorentz suffise dans un cas où les distances qui interviennent sont colossales par rapport aux dimensions des éléments matériels.

Aussi, tout en reconnaissant la valeur de preuve que comporte l'explication du mouvement du périhélie de Mercure vis-à-vis de la théorie de la relativité généralisée, nous croyons que la vérification des prévisions d'Einstein lors de l'éclipse du 29 mai 1919 est, à l'heure actuelle, malgré la légère incertitude qui résulte de la délicatesse des mesures, la plus belle confirmation connue de cette théorie. Nous sommes d'ailleurs persuadé qu'une étude approfondie des conséquences de l'existence de l'éther, avec la connaissance que nous avons actuellement des lois naturelles, conduira également par un chemin direct à la déviation de la lumière par le champ de gravitation.

Nous avons suivi une voie que nous croyons nouvelle en essayant de mettre en évidence une *loi de la cohésion*. Nous pouvions donc penser que quelques-uns des résultats auxquels nous arriverions ainsi pourraient s'opposer à la théorie de la relativité, et nous faire douter de sa validité. Loin de là ; ces résultats nous obligent, au contraire, à reconnaître l'exactitude du principe de relativité, au degré de précision le plus grand qui puisse être atteint aujourd'hui par l'expérience.

Les relativistes ont coutume de dire qu'avant eux les physiciens ne savaient pas bien exactement ce qu'ils faisaient et, partant de là, prétendent nous imposer d'un seul coup l'ensemble de leurs conceptions. Cet ensemble comprend :

1° Le principe de relativité ; nous avons cherché à montrer qu'il paraissait difficile d'échapper à ce principe, considéré comme la vérité d'aujourd'hui, que rien n'est encore venu infirmer, et dans laquelle des savants éminents, comme Poincaré, ont affirmé leur foi.

2° La théorie de la relativité ; comme déduction mathématique logique du principe de relativité, il n'y a rien à dire contre cette théorie, sinon que, dans la forme, elle atteint un degré d'abstraction qui la confine dans un domaine où ne peuvent la saisir que quelques initiés privilégiés. Il ne serait donc pas inutile de chercher à atteindre un degré d'exactitude [analogue dans l'énoncé des lois naturelles, d'une manière plus directe et à la portée d'un plus grand nombre.

3° Des vues cosmogoniques, que les relativistes développent en cherchant à donner un sens aux symboles qu'ils introduisent arbitrairement pour édifier leur théorie. A notre avis, tant que le sens ainsi attribué à ces symboles contredira les conséquences de l'existence indispensable de l'éther, ce sens sera arbitraire et sans valeur. Nous nous sommes efforcés de montrer, dans ce qui précède, qu'il n'était pas utile de bouleverser les conceptions anciennes de l'espace, du temps et de l'éther pour arriver à des résultats conformes à ceux de la théorie de la relativité.

Si Poincaré avait assisté aux développements de cette théorie, dont il a été un des précurseurs ⁽¹⁾, il se serait certainement chargé de faire un triage indispensable dans les idées présentées à ce sujet. Cette œuvre reste à faire.

L'auteur espère que l'étude qui précède, bien que partant d'idées différentes, sera suggestive à ce point de

vue. Lorsqu'il a publié des travaux d'électrotechnique, fruits de son expérience personnelle, des ingénieurs bien placés pour en juger lui ont dit qu'il avait rendu service. Il souhaite qu'il en soit de même dans ce nouveau domaine.

F. GUERY.

Revue, analyses et informations

Remarque sur la théorie de l'oscillographe.

Sous ce titre M. J. MEYER a présenté, à la séance du 20 janvier 1922 de la Section de Strasbourg de la Société française de Physique, une communication dont voici le résumé.

M. Blondel a publié en 1893 la solution du problème de la « synchronisation intégrale » dont la théorie de l'oscillographe est un cas particulier. On y trouve les conditions spéciales que doit réaliser le constructeur d'un tel appareil, c'est-à-dire un amortissement aussi voisin que possible de l'amortissement critique et une fréquence propre aussi grande que possible par rapport aux harmoniques du phénomène à enregistrer. Ces ondes harmoniques qui composent le phénomène à étudier s'inscrivent toutes avec des constantes galvanométriques et des retards (déphasages) différents; leurs valeurs et leurs positions relatives sont donc faussées. Ces erreurs sont inévitables, mais l'observation judicieuse des conditions énumérées ci-dessus permet de les ramener dans les limites tolérées pour un instrument de précision.

Les raisons qui imposent les conditions susdites apparaissent d'une façon particulièrement claire et, par conséquent, intéressante au point de vue de l'enseignement, quand on fait une représentation graphique de l'équation finale développée par Blondel, en admettant pour le mouvement de l'équipage amorti l'équation suivante :

$$K \frac{d^2\theta}{dt^2} + A \frac{d\theta}{dt} + C\theta = \sum_{n=1}^{n=\infty} F_n \sin(2\pi \nu_n t - \varphi_n).$$

Il est recommandable de porter en ordonnées le rapport $\frac{F_n C}{F_n}$ des amplitudes pour une fréquence ν_n et pour la « fréquence zéro », et en abscisses le rapport $\frac{\nu_n}{\nu} = n\lambda$ de la fréquence ν_n de l'harmonique n imposé et de la fréquence de l'oscillation propre ν de l'équipage non amorti.

Cette courbe a un caractère différent pour les valeurs successives du degré d'amortissement $\alpha = \frac{A}{2\sqrt{KC}}$. A part le

fait connu de l'aplatissement des courbes et du déplacement de la « position de résonance » vers les valeurs décroissantes de $\frac{\nu_n}{\nu}$ pour des valeurs croissantes de l'amortissement, on

constate le fait moins connu que pour $\alpha = \sqrt{0.5}$ la résonance a lieu pour la fréquence zéro et que le facteur d'amplification est égal à 1. A partir de cette valeur de α aucune résonance n'est possible; on constate, au contraire, une diminution des amplitudes pour n'importe quelle fréquence imposée par rapport à la fréquence zéro; fait également peu connu.

⁽¹⁾ On s'en rend compte en relisant la *Science et l'Hypothèse*.

La courbe pour l'amortissement critique $\alpha = 1$ (valeur pour laquelle la période d'établissement de l'équipage a une durée minimum) paraît caractérisée par un minimum de courbure par rapport aux autres courbes.

On peut aussi représenter graphiquement le déphasage

$$\gamma_n = \arctg \frac{2\alpha n\lambda}{1 - (n\lambda)^2}$$

des différentes harmoniques en fonction de $n\lambda = \frac{\nu_n}{\nu}$ pour

différentes valeurs de α . Ce déphasage γ_n varie de zéro à π .

Un oscillographe double équipé pour la projection immédiate des courbes enregistrées, comme celui de l'Institut de Physique de Strasbourg, devient un instrument précieux pour l'enseignement.

On peut facilement rendre visibles sur l'écran de l'amphithéâtre simultanément la courbe de tension alternative du secteur et les différentes courbes suivantes :

1° Le courant alternatif dans une résistance sans self-inductance;

2° Le courant alternatif dans une bobine de self-inductance (la période d'établissement du courant est très bien visible);

3° Le courant alternatif absorbé par une capacité en série avec une résistance. (Au fur et à mesure qu'on diminue la résistance, les harmoniques apparaissent de plus en plus forts);

4° La somme des deux courants précédents (en agissant sur la self-inductance variable, on peut annuler le déphasage, en même temps la somme atteint sa valeur minimum);

5° Le courant dans une lampe à arc à courant alternatif (entre crayons homogènes);

6° Le courant alternatif qui traverse une soupape électrolytique à aluminium (en dépassant la tension limite de la soupape, on obtient des discontinuités intéressantes);

7° Au moyen d'un contact tournant, synchrone avec le miroir tournant : la période d'établissement d'un courant continu dans une bobine de self-inductance. La projection simultanée de la tension du secteur alternative donne l'échelle du temps.

Note sur la relation entre la constante diélectrique, la perméabilité magnétique et la vitesse de la lumière.

Cette note a été présentée par M. BAYLINSKI à la séance du 20 janvier 1922 de la Société française de Physique, comme contribution à la question ⁽¹⁾ : Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique.

Voici la reproduction de cette note :

M. Abraham a contesté ⁽²⁾ la portée de la remarque formulée à propos de la relation connue

$$K\mu c^2 = 1$$

⁽¹⁾ Voir *R. G. E.*, 11 février 1922, t. XI, p. 177.

⁽²⁾ *R. G. E.*, 28 janvier 1922, t. XI, p. 118.

en signalant qu'on avait omis de tenir compte dans cette formule du coefficient λ de l'équation de définition

$$i = \frac{1}{\lambda} \frac{dq}{dt}.$$

Je désirerais présenter quelques brèves explications à ce sujet.

Je suis d'accord avec M. Abraham que la plupart des lois de la physique sont des lois de proportionnalité et qu'il y a, par conséquent, lieu le plus souvent de les écrire avec un coefficient de proportionnalité qui n'est généralement pas un pur nombre. J'ai eu, il y a bien des années déjà, l'occasion de signaler cette particularité.

Mais il n'en résulte pas que ce coefficient doive nécessairement subsister dans toutes ces formules, et il y a lieu, au contraire, dans chaque cas d'examiner avec soin s'il est utile de le maintenir, en tenant compte du fait qu'il est nécessaire d'introduire dans les formules le maximum possible de simplicité.

L'équation de i à laquelle fait allusion M. Abraham n'est pas une loi physique ordinaire, mais une équation de définition de la grandeur i . Or, dans toute équation de définition, le maintien d'un coefficient non numérique aboutit à introduire deux grandeurs au lieu d'une; cela peut être nécessaire lorsque la grandeur à définir a ou peut avoir d'autres liaisons avec des grandeurs déjà définies, mais, dans le cas contraire, cela constitue une complication inutile.

Dans le cas du courant, qui avait été découvert indépendamment de l'électrostatique, on aurait pu considérer l'électrostatique et l'électrocinétique comme deux domaines distincts entre lesquels l'équation de i établissait un lien par la définition du coefficient λ restant seul inconnu. Il a semblé préférable, à la lumière de l'ensemble des phénomènes intéressant ces deux ordres d'idées, de considérer qu'il s'agissait en réalité d'un seul domaine comportant diverses manifestations (c'est particulièrement frappant

dans la décharge oscillante d'un condensateur où i et $\frac{dq}{dt}$ se remplacent continuellement. On en a conclu que ces deux grandeurs n'étaient pas seulement deux grandeurs proportionnelles, reliées par une autre grandeur physique de nature inconnue, mais une seule et même grandeur, ce qui faisait nécessairement disparaître le coefficient λ .

Il faudrait donc, pour entrer dans les vues exprimées à ce sujet par M. Abraham, revenir en arrière, sans qu'on aperçoive, d'ailleurs, quelle utilité pourrait en résulter. Le courant i qu'on définirait ainsi ne serait pas la même grandeur physique que celle que, tous, nous envisageons sous ce nom et il faudrait reprendre toutes les équations où intervient le courant, pour en modifier plusieurs. En particulier, la force magnétomotrice d'un courant fermé ne serait plus, comme il est presque univocement admis aujourd'hui, égale à $4\pi i$, mais à $4\pi \lambda i$, et alors l'équation de relation des coefficients reste

$$K\mu c^2 = 1.$$

Pour obtenir l'équation

$$K\mu c^2 = \lambda^2,$$

il faut admettre que la force magnétomotrice d'un courant reste égale à $4\pi i$; mais, comme on a modifié la signification de i , il faut alors modifier proportionnellement la signification du champ magnétique H et par conséquent de toutes les grandeurs magnétiques, puisque ce champ se définit statiquement, indépendamment des courants électriques.

Si, en particulier, on supposait K et μ purement numériques, on aurait, en dimensions

$$I = \lambda^{-1} M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-2}$$

$$HL = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} T^{-1} = \lambda I (L^{-1} T).$$

Ce qui nécessiterait, pour maintenir l'expression habituelle de la force magnétomotrice d'un courant, que λ eût les dimensions d'une vitesse; en fait, il faudrait que λ fût égal à la vitesse de la lumière. On ne voit pas bien quel avantage pourrait résulter de ce nouveau système; par contre, certains de ses inconvénients sautent aux yeux.

Réponse à l'article « Discussion théorique de la méthode de mesure des débits de N.-R. Gibson » (1).

Nous avons exposé antérieurement la théorie mathématique développée par Robert Dubs (2) pour montrer comment on pouvait, suivant l'idée de Gibson, mesurer le débit d'une conduite, connaissant la surpression causée par la fermeture d'une vanne placée au bas de la conduite; tous ses calculs avaient pour but d'établir la relation existant entre cette surpression et la vitesse v_0 de l'eau dans la conduite en régime normal, qui est, en définitive, la donnée fondamentale nécessaire pour le calcul du débit.

M. le comte de Sparre, dans une note publiée dans la « Revue générale de l'Electricité », (3) a rappelé que v_0 se déduisait immédiatement de ses formules relatives au coup de bélier maximum, ce qui simplifie considérablement le problème.

Mais M. Dubs, comme conclusion de son article, émettait l'opinion que la mesure d'un débit par la méthode de Gibson était d'une application difficile, à cause de la complexité des formules auxquelles elle conduit et de l'imprécision des grandeurs qui y figurent. C'est cette affirmation qui a suscité une réplique de Karl I. Karlsson dont nous donnons ci-dessous une analyse détaillée.

La méthode de mesure préconisée par Gibson ne peut s'expliquer que par le théorème énoncé déjà par Bauerfeld dans son traité classique « La régulation automatique des turbines », à savoir : « Pour produire une variation dans la vitesse de l'eau d'une conduite, il faut que l'intégrale par rapport au temps de la variation de pression correspondante ait une valeur bien déterminée qui ne dépende que de la différence des vitesses. »

Analytiquement, ce théorème est exprimé par la formule :

$$v_0 - v_1 = \frac{g}{\gamma L} \int_0^{t_1} (p - p_0) dt = \frac{g}{\gamma L} F,$$

où F représente la surface hachurée de la figure 1. La loi de

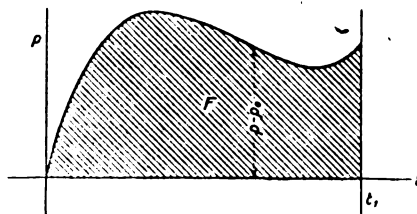


Fig. 1.

fermeture est tout à fait arbitraire et nous verrons plus loin qu'il en est de même du temps de fermeture.

Dans la formule ci-dessus, on ne tient pas compte de la compressibilité de l'eau, ni de l'élasticité de la conduite. En fin de course de l'organe effectuant la fermeture, la pression retombe brusquement à sa valeur normale, ce qui fournit naturellement une limite pour l'intégrale.

En réalité, on ne peut pas ne pas tenir compte de l'élasticité. Il se manifeste des oscillations de pression qui se pro-

(1) Karl I. KARLSSON. *Schweizerische Bauzeitung*, 22 octobre 1921, t. LXXVIII, p. 205-206, 2 fig.

(2) R. G. E., 1^{er} octobre 1921, t. X, p. 134.

(3) R. G. E., 5 novembre 1921, t. X, p. 434.

pagent avec des amplitudes alternativement positives et négatives, mais toujours égales, comme le montre le diagramme de la figure 2 relevé avec un indicateur ordinaire et un cylindre tournant. L'intégrale par rapport au temps donne, à chaque instant, la différence de vitesse qui produit des oscillations autour de la valeur constante qui correspond à la position de fin de course de l'organe de fermeture.

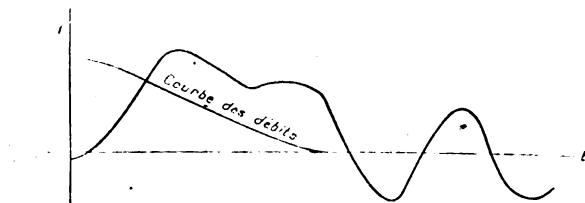


Fig. 2.

Le calcul exact du diagramme (pressions-temps) se fait à l'aide des relations fondamentales d'Alliévi. On porte sur l'axe des temps les valeurs

$$t = 0, \quad \Theta, \quad 2\Theta, \quad 3\Theta, \quad 4\Theta, \text{ etc.},$$

et, sur l'axe des pressions, les accroissements correspondants mesurés sur le diagramme, à savoir

$$\Delta y = 0, \quad \Delta y_1, \quad \Delta y_2, \quad \Delta y_3, \quad \Delta y_4, \text{ etc.}$$

Puis on forme les expressions :

$$f = 0 \quad 0, \quad \Delta y_1, \quad \Delta y_1 + \Delta y_2, \quad \Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3, \text{ etc.},$$

$$F = 0, \quad \Delta y_1, \quad \Delta y_1 + \Delta y_2, \quad 2\Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3, \\ \Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3 + \Delta y_4, \text{ etc.},$$

$$F + f = 0, \quad \Delta y_1, \quad 2\Delta y_1 + \Delta y_2, \quad 2(\Delta y_1 + \Delta y_2) + \Delta y_3, \\ 2(\Delta y_1 + 2\Delta y_2 + \Delta y_3) + \Delta y_4, \text{ etc.}$$

et

$$r_0 - r_1 = \frac{g}{a} [2(\Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3 + \dots + \Delta y_{n-1}) + \Delta y_n]. \quad (2)$$

Cette formule est exacte, abstraction faite du frottement et des oscillations du plan d'eau dans la chambre de mise en charge.

Si le temps de fermeture n' est par trop petit vis-à-vis de $\Theta = \frac{2L}{a}$, le second membre de (2) devient

$$\frac{g}{a} \cdot \frac{1}{\Theta} \cdot \left[\text{surface intégrale} \right]_0^{\Theta},$$

ou, en remplaçant Θ par sa valeur, on a

$$r_0 - r_1 = \frac{g}{L} F,$$

ce qui est la formule de Bauerfeld.

En fin de compte, la précision de la méthode de mesure dépend uniquement de la précision même avec laquelle on peut déterminer L et la surface F . Pour des conduites très longues par rapport à leur diamètre, L est susceptible d'une mesure directe; mais, avec des conduites courtes, on est amené à mesurer Θ , à calculer a , ou, en cas de besoin, à le mesurer aussi et à tirer L de la formule $L = \frac{a\Theta}{2}$, à moins d'utiliser la formule (2). Pour cette détermination indirecte des constantes de la conduite (sur laquelle l'auteur ne veut pas s'étendre davantage), on trouvera des indications claires et complètes dans l'ouvrage de Camichel, Eydoux et Gariel,

« Etude théorique et expérimentale des coups de bélier ». Remarquons seulement que, dans le cas où la conduite débouche dans la chambre de la turbine, l'onde de pression réfléchie est à ce point déformée que la méthode n'est plus applicable. On tourne cette difficulté en recourant à une méthode également indiquée par Gibson et consistant à faire la mesure dans deux sections de la conduite, dont la distance l peut être déterminée exactement. Si l'on a d'abord

calculé a , on en tire $\Theta' = \frac{l}{a}$. Considérons maintenant les époques $0, \Theta', 2\Theta', 3\Theta', \text{ etc.}$, et représentons par $0, \Delta y'_1, \Delta y'_2, \Delta y'_3, \text{ etc.}$, et $0, 0, \Delta y''_2, \Delta y''_3, \Delta y''_4, \text{ etc.}$, les accroissements de pression correspondants sur les deux diagrammes. Alors, au temps $t = 2n\Theta'$, on a

$$F'' + f' = 2[\Delta y'_2 + \Delta y'_4 + \Delta y'_6 + \dots + \Delta y'_{2n-1}] \\ + \Delta y'_{2n} - 2[\Delta y''_3 + \Delta y''_5 + \Delta y''_7 + \dots + \Delta y''_{2n-1}],$$

et au temps $t = (2n + 1)\Theta'$,

$$F'' + f' = 2[\Delta y'_2 + \Delta y'_4 + \Delta y'_6 + \dots + \Delta y'_{2n}] \\ - 2[\Delta y''_3 + \Delta y''_5 + \Delta y''_7 + \dots + \Delta y'_{2n-1}] - \Delta y'_{2n+1}.$$

Ces expressions ne correspondent pas exactement à la surface du diagramme, mais les petits triangles en excès sont d'ailleurs négligeables.

Quand la conduite est à n caractéristiques, il faut, dans la formule de Bauer, remplacer L par

$$l_1 + l_2 \frac{A_1}{A_2} + l_3 \frac{A_1}{A_3} + l_4 \frac{A_1}{A_4} + \dots + l_n \frac{A_1}{A_n} = A_1 \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{A_i}.$$

L'auteur conclut de son exposé que la méthode de Gibson constitue un progrès considérable dans la technique de la mesure des débits d'eau et qu'elle mérite que les ingénieurs intéressés s'efforcent de la mettre au point.

L'ingénieur Dubs, auteur de la première note, fait aux objections de M. Karlsson la réponse suivante :

« Ni le travail de Bauerfeld, ni celui de Camichel, Eydoux et Gariel ne m'étaient inconnus. Cependant les relations utilisées par Karlsson ne se prêtent pas à une confirmation critique de l'exactitude de la méthode de Gibson, parce qu'il n'y apparaît que la surface délimitée par la courbe (p, t) pour le calcul de la quantité d'eau, ce qui ne permet pas de contrôler la précision des ordonnées du diagramme des pressions. Le but de mes « considérations théoriques » a été aussi de montrer à quelles influences les ordonnées de la courbe des pressions sont subordonnées et il est clair, sans autre explication, que la surface limitée par la courbe des pressions en fonction du temps est soumise aux mêmes influences. Du reste, sans faire état de la formule de Bauerfeld et en s'appuyant simplement sur le principe de la conservation de l'énergie, il est facile de trouver une relation entre la force vive de l'eau de la conduite et la surface $p = f(t)$.

D'une manière générale, c'est-à-dire indépendamment de la loi de fermeture, on a

$$\frac{1}{2} m v^2 = \gamma Q_0 y_0 \int_0^T \sqrt{\frac{y}{y_0}} \left(\frac{y}{y_0} - 1 \right) dt,$$

où m est la masse de l'eau en mouvement dans la conduite et v , sa vitesse. L'intégrale du second membre représente, en principe, l'aire de la surface limitée par la courbe $p = f(t)$ mais, par suite des effets dus à l'élasticité et que j'ai signalés dans mes considérations théoriques, les causes d'erreurs indiquées par moi, ne se trouvent pas davantage éliminées par l'emploi des formules développées ci-dessus. Pour le reste, je suis de l'avis de l'ingénieur Karlsson, tout en estimant que la nouveauté d'une idée ne constitue pas a priori une garantie de sa valeur ». — B. C.

SECTION INDUSTRIELLE

Protection des réseaux à courants alternatifs par les systèmes sélectifs automatiques Ferranti

Nous rappellerons, tout d'abord, que, par la plume de M. Scoumane, la « Revue générale de l'Électricité » a consacré de nombreuses colonnes à la description des « principales méthodes modernes de sectionnement automatique des circuits électriques en cas de surintensité » (R. G. E., 11 et 18 juin et 3 septembre 1921). A la suite de cette publication, la maison Ferranti avait présenté quelques objections (R. G. E., 3 novembre 1921), relativement à la comparaison qu'on avait essayé d'établir entre son système et celui d'autres constructeurs et elle se proposait de les décrire dans notre Revue. Le but du présent article est donc un exposé théorique et pratique des systèmes de protection Ferranti-Field et Ferranti-Waters. Le premier est destiné à assurer instantanément la mise hors circuit d'un câble triphasé ou diphasé armé, dont une phase viendrait accidentellement en contact avec la terre ; le second permet non seulement de procéder aux mêmes manœuvres que le premier, mais il réalise encore une sélection parfaite et une protection différentielle entre des paires de feeders en parallèle. Dans tous ces dispositifs, on rencontre toujours le même organe actif qui est un transformateur spécial, sans primaire, avec un ou deux secondaires sur lesquels sont montés les relais. Le secondaire du transformateur est simplement enroulé autour du câble à protéger avec des variantes qui dépendent de la nature de la protection cherchée.

I. Introduction. — La protection automatique des réseaux contre les troubles, assez fréquents, résultant d'une mise à la terre accidentelle ou d'un défaut entre phases présente une importance de plus en plus grande, étant donné le développement actuel des réseaux, leur intercommunication et l'augmentation de puissance des stations centrales qui les alimentent.

En raison de la nécessité qu'il y a d'assurer le mieux possible la continuité du service, le problème est souvent complexe et la solution qu'il conviendra d'adopter pour la protection d'un réseau nécessitera, dans tous les cas, un examen très attentif et la connaissance exacte des conditions à réaliser, ainsi que des caractéristiques des différents relais.

Il existe un grand nombre de dispositifs de protection dont quelques-uns ont été décrits dans différents périodiques français et étrangers et il est possible, en se basant sur les principes des divers dispositifs de protection connus, de réaliser un très grand nombre de schémas de connexions. Aussi bien n'avons-nous pas l'intention de les examiner ni de les comparer tous dans cet exposé que nous voulons rendre aussi court que possible.

Le but que nous nous proposons est surtout de donner la description des systèmes de protection sélectifs Ferranti, systèmes dont il existe déjà de nombreuses applications, qui ont, par conséquent, la sanction de la pratique et dont le fonctionnement donne toute satisfaction sur les réseaux où ils ont été adoptés.

Ces dispositifs s'appliquent aux génératrices, transformateurs et réseaux souterrains ou aériens. Indépendamment des dispositifs de protection habituellement

employés, tels que : relais à induction à maximum du type à disque, relais à retour d'énergie, etc..., que nous ne mentionnerons que pour mémoire, ces appareils de la marque Ferranti étant bien connus, nous pouvons mentionner les systèmes suivants qui sont également construits par Ferranti Limited :

- 1° Protection des génératrices, transformateur de puissance et feeders contre tous défauts de mise à la terre par le système différentiel Merz-Price ;
- 2° Protection des feeders et des génératrices par le système Ferranti-Field ;
- 3° Protection des feeders et autre appareillage par le système Ferranti-Hawkins dont la description a déjà paru dans la « R. G. E. ».
- 4° Protection des feeders en parallèle sans l'emploi de fils pilotes par le système Ferranti-Waters ;
- 5° Protection d'un circuit par l'emploi des conducteurs divisés.

Nous rappellerons succinctement en quoi consiste la protection différentielle Merz-Price, ce procédé étant bien connu et ayant été souvent décrit. Nous nous étendrons plus longuement sur les autres systèmes de protection mentionnés ci-dessus et, en particulier, sur le système Ferranti-Waters, visant la protection des feeders en parallèle sans l'emploi de fils pilotes.

II. Protection Merz-Price. — Le principe de cette protection différentielle est basé sur la comparaison des courants circulant à chaque extrémité de chacun des enroulements s'il s'agit de protéger un alternateur ou un transformateur, ou d'un même conducteur dans le cas des feeders.

Dans le cas d'un alternateur, par exemple, un transformateur de courant est branché à chacune des extrémités d'une même phase du stator, ce qui exige, bien entendu, la sortie du point neutre, et les secondaires de ces transformateurs sont reliés en série par des fils pilotes convenables (fig. 1).

En temps normal, lorsque il n'y a aucun défaut sur le circuit, les points milieux du circuit secondaire sont des points équipotentiels qui sont reliés à un relais unipolaire. Pour une génératrice triphasée, il sera donc nécessaire d'employer six transformateurs d'intensité, dont trois seront placés entre enroulements et point neutre et les trois autres aux extrémités opposées des enroulements et aussi près que possible des disjoncteurs. Il y aura aussi trois relais unipolaires (fig. 2).

Si les transformateurs d'intensité sont identiques et s'il n'y a pas de défaut sur les enroulements, les courants circulant dans les transformateurs-série seront

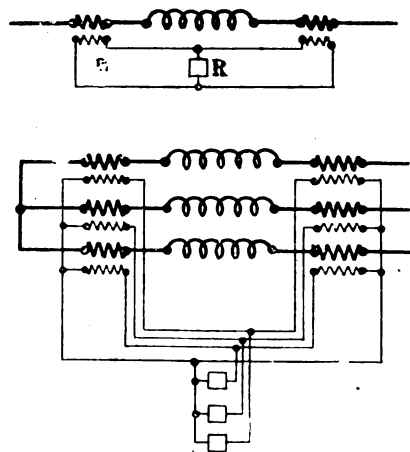


Fig. 1 et 2. — Protection différentielle Merz-Price dite à équilibre de courant, appliquée à des alternateurs mono et triphasés.

identiques. Il en sera de même pour les courants secondaires et dans ces conditions, comme déjà mentionné et comme on peut s'en rendre facilement compte, les points milieux des fils pilotes reliant les bornes des enroulements secondaires seront des points équipotentiels et, par conséquent, aucun courant ne traversera les relais. Il en sera autrement, par contre, s'il se produit un accident quelconque, tel que court-circuit entre phases ou mise à la terre, car les courants dans les transformateurs montés à chaque extrémité du circuit n'auront plus la même valeur. Cette inégalité se répétera dans les circuits secondaires et il en résultera que les points milieux de ces circuits, auxquels doivent aboutir les connexions des relais, ne seront plus au même potentiel et le relais correspondant à la phase défectueuse entrera aussitôt en action dès que le courant de dérivation atteindra une valeur déterminée par le réglage.

Le fonctionnement des relais provoquera l'ouverture

du disjoncteur et l'ouverture de celui-ci entraînera également la coupure du circuit d'excitation, ce qui mettra la machine complètement hors circuit.

La figure 1 donne le schéma de montage simplifié relatif à un alternateur monophasé.

La figure 2 représente le montage pour un alternateur triphasé.

La figure 3 représente le montage pour un transformateur étoile-étoile ou triangle-triangle.

Les transformateurs de courant dans les circuits primaires et secondaires ont leurs rapports de transformation inversement proportionnels aux rapports de tension des transformateurs de puissance.

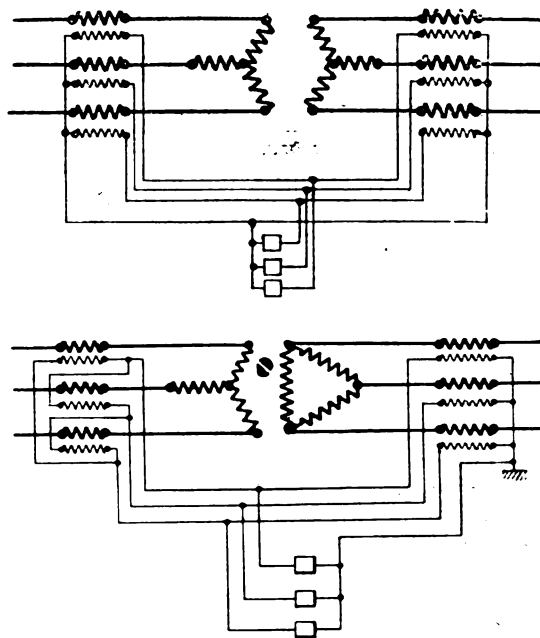


Fig. 3 et 4. — Même dispositif monté sur transformateur étoile-étoile (ou triangle-triangle) et étoile-triangle.

Pour des transformateurs triangle-étoile le dispositif un peu plus compliqué est donné par le schéma de la figure 4.

On voit que cette méthode protège les machines contre les défauts d'isolement internes, contre les défauts entre phases et contacts à la terre. Elle a l'avantage d'assurer une mise hors circuit instantanée avant qu'une avarie grave ait pu détériorer les enroulements.

Elle a, de plus, l'avantage d'être entièrement indépendante de la tension.

Les transformateurs d'intensité pourraient être à la rigueur utilisés pour alimenter des appareils de mesure en outre des relais, mais il est recommandé pour des raisons de réglage et de sensibilité d'employer d'autres transformateurs pour l'alimentation des appareils de mesure. En outre, les connexions entre les secondaires des transformateurs devront être aussi peu résistantes que possible; en général, une section de 2,5 à 5 mm² suffit largement pour les fils pilotes. Les résistances

des fils pilotes, de même que les impédances, devront être réparties également de part et d'autre des points milieux reliés aux relais.

Contrairement à ce qui a été écrit par certains ingénieurs, il est nécessaire d'utiliser des transformateurs d'intensité spéciaux et non des transformateurs de mesure ordinaires, car, dans le montage Merz-Price, les transformateurs accouplés en série doivent avoir les mêmes caractéristiques sur les charges variables et sur de fortes surcharges; il en résulterait autrement des déclenchements intempestifs dus aux déséquilibres provenant des différences entre ces caractéristiques, et, en particulier, en cas de court-circuit.

La sécurité du système est très grande et on peut régler le relais jusqu'à 10 pour 100 du courant normal, quelquefois même on peut descendre jusqu'à 5 pour 100.

Le système Merz-Price peut être enfin utilisé pour la protection des feeders aériens ou souterrains comme le montre le schéma simplifié de la figure 5 s'appli-

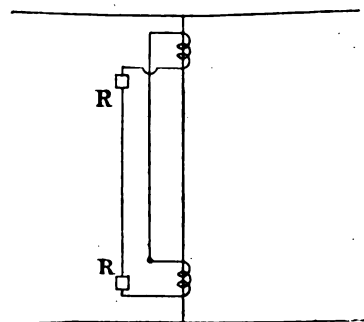


Fig. 5. — Le montage Merz-Price dit « à équilibre de tension », appliqué à une phase d'un réseau.

quant à la protection d'une seule phase. Dans ce cas on a recours au montage dit « par équilibre de tension » et les transformateurs d'intensité sont montés en opposition au moyen de fils pilotes appropriés. Les relais ne sont plus alors connectés en dérivation sur les circuits secondaires, mais intercalés dans ceux-ci, ce qui réduit à 3 le nombre de fils pilotes nécessaires. Lorsque le feeder à protéger est en bon état, il n'y a pas de force électromotrice résultante dans le circuit secondaire. Au contraire, si un défaut se produit, l'équilibre des forces électromotrices est rompu et un courant passe dans le relais qui entre aussitôt en action.

Comme dans le cas du montage précédent, appelé « par équilibre de courant » par opposition au second montage, les transformateurs d'intensité doivent également être d'un type spécialement étudié en vue de donner au circuit secondaire ouvert une faible tension aux bornes.

III. Protection Ferranti-Field. — Ce dispositif est plus spécialement destiné à assurer la protection des câbles armés triphasés ou diphasés et permet de mettre

hors service, d'une manière instantanée, tout câble dont une phase vient à être mise en contact avec la terre, ce qui réduit au minimum les perturbations pouvant en résulter sur un réseau.

PRINCIPE. — Cette méthode, dont la caractéristique essentielle est d'utiliser le courant de terre pour actionner le relais de contrôle, consiste à disposer sur le câble à protéger un transformateur spécial sans primaire, avec circuit magnétique entourant complètement le câble et dont le secondaire alimente un relais destiné à actionner la bobine de déclenchement du disjoncteur placé en tête du feeder.

Le type du transformateur spécial utilisé dans ce but est représenté schématiquement par la figure 6.

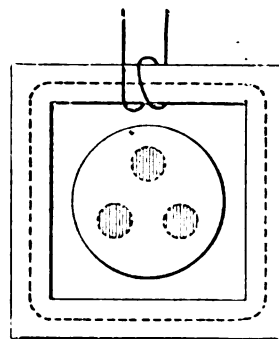


Fig. 6. — Schéma de la protection Ferranti-Field pour câbles armés triphasés ou biphasés.

Le relais est un relais électromagnétique de construction spécialement soignée, pour assurer sa sensibilité tout en évitant les risques d'opérations accidentelles par suite de trépidations.

FONCTIONNEMENT. — Considérons par exemple une station génératrice triphasée sans point neutre à la terre, alimentant un certain nombre de câbles indépendants, c'est-à-dire ne travaillant pas en parallèle, c'est-à-dire encore que la distribution est du type radial.

S'il n'existe en aucun point de contact à la terre sur un feeder déterminé ou sur la partie du réseau à laquelle il est relié, la somme des courants instantanés dans ce feeder est nulle à chaque instant, et cette condition se trouve réalisée, que la charge soit équilibrée ou non. En conséquence, le circuit magnétique du transformateur spécial entourant le câble n'est le siège d'aucun flux et il ne passera aucun courant dans le circuit secondaire. Le relais restera donc inactif et ceci quelle que soit la charge du feeder aussi longtemps que le câble restera en bon état.

Bien que nous ayons admis que le point neutre du système n'était pas à la terre, on remarquera qu'il y a toujours un certain courant de capacité passant de chaque phase vers la terre à travers le diélectrique et que, à chaque instant, le courant de capacité d'une

quelconque des phases (par rapport au sol) est égal au courant total de capacité des deux autres phases.

Supposons maintenant que la phase C, par exemple, soit en contact avec la terre, mettant de la sorte au potentiel du sol cette partie de l'installation; il se produira aussitôt un courant à la terre dont le passage est facilité par le fait que les courants de capacité des phases A et B ne feront plus retour à la phase C par diélectrique entre sol et cette phase, puisqu'elle est maintenant au potentiel zéro. Par conséquent, la totalité du courant de capacité du réseau ira de la terre à la phase C en passant par le point défectueux.

Dans ces conditions, la somme des courants instantanés ne sera plus nulle dans le câble détérioré et le flux dans le circuit magnétique du transformateur correspondant sera considérablement augmenté; ce qui aura pour conséquence immédiate de faire fonctionner le relais relié au secondaire de ce transformateur et, par suite, de provoquer la coupure instantanée du disjoncteur.

On remarquera que l'effet de magnétisation résultant du passage par le câble défectueux du courant de terre est tout à fait indépendant de la charge sur le feeder.

Le même genre de protection peut évidemment être utilisé avec avantage dans un système triphasé à faible capacité dont le point neutre sera relié à la terre par l'intermédiaire d'une résistance calculée de manière à limiter à une certaine valeur le courant qui ferait retour par la terre en cas de défaut.

IV. — Protection différentielle pour lignes en parallèle. — Avant de donner la description du système Ferranti-Waters, il nous paraît utile d'exposer les quelques considérations suivantes.

L'utilisation du système Merz-Price dit « par équilibre de tension » pour la protection des feeders ou lignes en parallèle nécessite l'emploi de fils pilotes, ce qui, indépendamment de la dépense élevée qui en résulte, offre en pratique des inconvénients qui le font écarter dans certains cas, et qui, du reste, en rendent l'application presque impossible dans tous les cas où l'on se trouve en présence d'installations existantes, surtout s'il s'agit d'installations souterraines. On a donc été amené à réaliser la protection des lignes fonctionnant en parallèle par un système différentiel comportant des relais spéciaux placés aux deux extrémités de chaque ligne sans aucune connexion entre eux. Dans ce cas le fonctionnement ne résulte plus de la comparaison entre le courant d'une phase déterminée à l'entrée et à la sortie d'une même ligne, comme dans le cas du système Merz-Price, mais de la différence pouvant exister entre les courants dans les mêmes phases des lignes en parallèle, d'une part, au départ de la station génératrice et, d'autre part, à l'arrivée à la sous-station où aboutissent ces lignes. Il y a deux modes de montage pour les connexions de ces appareils suivant que l'on désire obtenir simultanément, en cas de défaut sur une ligne, la mise hors service des deux lignes protégées ou, au contraire, que l'on veuille mettre seule-

ment hors service la ligne défectueuse, ce qui réalisera la *sélection* entre la ligne saine et la ligne défectueuse.

Nous allons exposer succinctement les deux variantes envisagées ci-dessus pour ce dispositif de protection dont la description a paru dans divers périodiques. Il nous paraît utile, en effet, ne serait-ce que dans un but de rapprochement et pour montrer nettement la supériorité des dispositifs Ferranti-Waters dont il est question plus loin, de rappeler le mode de montage adopté habituellement pour les dispositifs de protection basés sur ce principe.

1° PROTECTION SANS SÉLECTION. — Dans ce cas il est prévu d'ordinaire, à chaque extrémité, deux transformateurs d'intensité pour alimenter chacun des relais respectivement aux deux extrémités des feeders, comme le montre le schéma unifilaire ci-contre fig. 7. Ces transformateurs dont les caractéristiques doivent être identiques ont leurs secondaires reliés en série. Un relais branché en dérivation aux deux points équipo-

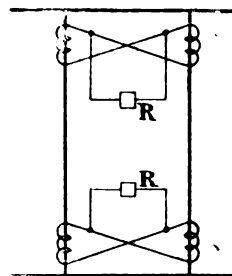


Fig. 7. — Schéma unifilaire d'un dispositif de protection sans sélection.

tentiels du circuit reliant les secondaires commande les interrupteurs à huile correspondants. En temps normal, lorsque les deux feeders sont intacts, les courants dans les secondaires sont égaux, et les relais restent inactifs. Mais, dès qu'il se produit, par suite d'un défaut sur l'un des câbles, une différence entre les courants primaires, le relais correspondant entre en action et provoque l'ouverture de son disjoncteur.

On remarquera que le montage doit permettre un réglage assez sensible, mais il y a à craindre des déclenchements intempestifs, si l'on adopte des réglages par trop fins, car, d'une part, les impédances des deux câbles en parallèle peuvent ne pas être les mêmes et elles peuvent différer assez pour créer des différences en temps normal dans les courants de travail et, d'autre part, les caractéristiques à toutes charges des transformateurs série équilibrés peuvent également varier suffisamment pour influencer les relais bien qu'il n'y ait aucun défaut sur les câbles. D'où la nécessité d'employer des transformateurs d'intensité spéciaux autres que ceux employés pour l'alimentation des appareils de mesure et, par conséquent, ils doivent être étudiés uniquement en vue de cette application.

Comme nous l'avons déjà dit, le fonctionnement de ces relais peut être provoqué de façon intempestive

par des différences entre les courants de travail, alors qu'il est très important que le déséquilibre ne se produise que par les courants de fuite résultant d'un défaut.

Signalons aussi la nécessité d'installer à chaque extrémité, par paires de câbles, six transformateurs d'intensité isolés pour la tension normale du réseau.

2° PROTECTION AVEC SÉLECTION. — Il est indispensable, lorsque l'on désire obtenir l'effet de sélection, d'employer non plus des relais ordinaires, mais bien des relais « directionnels » dont le fonctionnement est analogue à celui des relais à « retour d'énergie ».

Ces relais directionnels sont montés de façon à fermer l'un ou l'autre des circuits des bobines de déclanchement des disjoncteurs à huile suivant le sens du courant traversant les relais placés en dérivation sur les secondaires des transformateurs d'intensité.

Indépendamment de la nécessité d'employer, dans le cas de cette variante, des transformateurs de potentiel, ce qui est évidemment une complication, les inconvénients dont il a été question ci-dessus au sujet du premier dispositif se reproduiront pour les mêmes raisons. La difficulté d'obtenir un fonctionnement satisfaisant doit donc augmenter de ce fait, si l'on applique ce dispositif à plusieurs lignes en parallèle.

V. — **Protection Ferranti-Waters.** — Ce dispositif s'applique, tout d'abord, à la protection contre mise à la terre de feeders travaillant en parallèle, groupés ou non par paires (feeders doubles) sur une même sous-station.

Ce système s'applique encore, comme on le verra plus loin, à la protection de feeders indépendants groupés par paires (cas de la distribution radiale). Il permet une action sélective et provoque la mise hors service instantanée d'un feeder sur lequel se produit un défaut à la terre sans couper les autres feeders sains restant sous conditions normales. Avec ce système, le défaut se trouve donc isolé dans un temps extrêmement court, c'est-à-dire avant qu'il ait pu s'aggraver, ce qui réduit le plus possible la perturbation et limite au minimum le dommage.

A certains points de vue ce système semble se rattacher à la méthode bien connue et déjà ancienne de protection, dite « par paires de câbles équilibrés » et aussi à celle dite « par conducteurs divisés ». Mais comme nous le montrerons plus loin, il en diffère assez notablement par certaines particularités spéciales et présente des avantages qui en rendent l'application beaucoup plus pratique que celle des autres systèmes.

En fait ce système participe à la fois des propriétés du système Ferranti-Field et du système dit « par paires de câbles équilibrés ».

Lorsque la capacité du réseau par rapport à la terre est suffisante, il peut être appliqué sans qu'il soit nécessaire de relier le point neutre à la terre ; c'est notamment le cas de réseaux entièrement souterrains d'une grande étendue.

Il y a ici, comme il en a été question précédemment,

plusieurs variantes à envisager et on adoptera des montages différents selon que l'on aura à protéger une seule ou plusieurs paires de feeders indépendants (cas d'une distribution radiale) ; deux feeders reliés à une sous-station ne recevant pas d'autre alimentation ; ou encore, ce qui est le cas le plus général, un certain nombre de feeders travaillant en parallèle, groupés ou non par paires sur le même jeu de barres d'une même sous-station recevant également du courant d'une autre source d'énergie (cas de la distribution en boucle).

Nous nous contenterons d'envisager le cas de deux feeders, reliés à une sous-station non indépendante, alimentée par une autre source d'énergie, ce qui revient absolument au même au point de vue du fonctionnement des relais au cas de 3 ou 4 feeders travaillant en parallèle sur une même sous-station.

DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE FERRANTI-WATERS. — Le schéma unifilaire ci-contre (fig. 8) s'applique au cas de deux feeders A et B aboutissant à une sous-station recevant du courant également par l'artère C en boucle.

Dans ce cas, l'appareillage à prévoir est identiquement le même du côté de la station génératrice et de la sous-station.

Cet appareillage comprend en tout deux transformateurs d'intensité spéciaux semblables aux transformateurs Ferranti-Field, sans enroulement primaire, mais avec double secondaire et deux relais unipolaires. Les transformateurs entourent complètement les câbles sur lesquels on les pose et ils sont construits de façon que l'un des côtés de leur circuit magnétique puisse s'enlever facilement pour le mettre en place sans avoir à défaire les boîtes à câbles, ce qui permet de les installer sans aucune difficulté sur des feeders déjà en service.

Les relais auxquels sont reliées les bornes secondaires des transformateurs suivant un schéma approprié, sont des relais unipolaires directionnels du type à induction comportant deux bobines agissant sur un disque unique. Ces relais sont absolument identiques aux relais à retour d'énergie, avec cette différence, toutefois, qu'ils ne comportent que des circuits d'intensité. Le disque ne peut tourner que dans un sens déterminé et est maintenu à l'arrêt au moyen d'un contrepoids et d'une butée. Dès que l'un des relais est soumis à l'action d'un couple suffisant agissant dans une certaine direction, il entre en action instantanément et les relais sont connectés de telle sorte qu'ils ont une action sélective suivant le sens des courants circulant dans leurs bobines.

FONCTIONNEMENT. — Le fonctionnement du système s'explique comme suit : en temps normal, s'il n'existe aucune terre sur les feeders, la somme des courants traversant les circuits magnétiques des transformateurs spéciaux entourant chaque câble est nulle à chaque instant. Il en est ainsi que la charge soit équilibrée ou non. Il n'y aura donc pas d'effet d'induction et aucun courant ne traversera les circuits secondaires ; de leur côté, les relais seront inactifs quelle que soit la charge des feeders et le plus ou moins grand déséquilibre

de cette charge. La plus ou moins bonne répartition des courants de travail dans les deux feeders en parallèle peut dépendre, comme on l'a déjà dit, de la diffé-

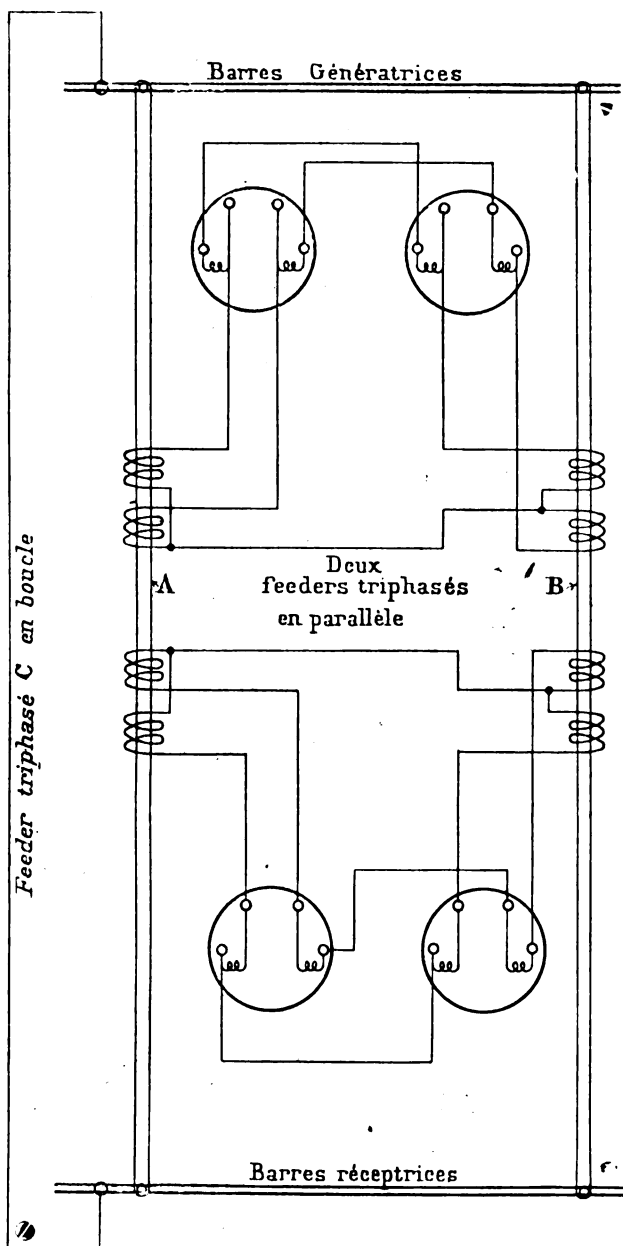


Fig. 8. — Schéma unifilaire du dispositif de protection Ferranti-Waters par la mise hors circuit des câbles sur lesquels s'est produit un défaut à la terre.

rence des réactances des feeders et, avec le système Ferranti-Waters, elle n'aura aucune influence sur le fonctionnement.

Par contre, s'il se produit une mise à la terre, en un point quelconque sur la longueur des feeders, les conditions ci-dessus ne sont plus réalisées et il y a production d'un courant de défaut qui traverse en partie le

transformateur placé sur le câble défectueux et fait retour aux machines par la capacité du système s'il n'y a pas de point neutre à la terre.

Ceci dit, considérons le schéma unifilaire de la figure 8. S'il se produit un défaut sur le câble B, ce courant de défaut ou de fuite partant des barres génératrices aura la même direction dans les câbles A et B, mais sa valeur sera plus grande dans le câble B; au contraire, du côté des barres de la sous-station, les courants dans A et B ont des directions contraires. On observera en outre que, en tenant compte du courant de défaut empruntant le circuit C et qui lui aussi tend à passer par le point défectueux, le courant de retour dans le câble B sera certainement plus important que celui passant par A. Il y aura donc inégalité entre les courants de fuite circulant dans les deux câbles en parallèle et il en sera de même évidemment pour les courants circulant dans les secondaires des transformateurs d'intensité entourant les extrémités des câbles. Il en résultera instantanément, comme on peut le vérifier, le fonctionnement du relais correspondant au câble détérioré. L'action sélective des relais employés dépend, en effet, à chaque instant, de la direction relative des courants dans leurs électros et ils n'entrent en action que lorsque les courants les traversent dans des directions opposées.

Les connexions entre les bornes secondaires des transformateurs d'intensité et les relais sont telles que dans tous les cas, seul le relais correspondant au câble défectueux peut entrer en action, et ce résultat est obtenu de la même manière aux deux extrémités des câbles protégés, le montage de l'appareillage de protection étant identique du côté des barres génératrices et du côté des barres réceptrices.

On remarquera que l'action directionnelle d'où résulte l'action sélective est obtenue aussi sans qu'il soit nécessaire, comme dans les autres systèmes, d'utiliser des transformateurs de potentiel.

Le système Ferranti-Waters peut être appliqué à un nombre quelconque de feeders en parallèle, même dans le cas d'une alimentation simple. Ce système assure une sélection parfaite lorsqu'il y a trois ou quatre feeders en parallèle; mais, évidemment, un grand nombre de combinaisons, qu'il n'est pas possible d'examiner ici, peuvent être envisagées dans l'ensemble d'une distribution.

Nous signalons, comme cas particulier et plutôt rare, le cas de deux feeders seulement travaillant en parallèle sur une sous-station ne recevant pas d'autre alimentation. Dans ce cas, le montage de l'appareillage de protection reste celui déjà indiqué précédemment. Mais pour qu'il y ait certitude de sélection, il sera nécessaire, du côté des barres réceptrices de la sous-station, de prévoir un montage différent utilisant un plus grand nombre de relais et des transformateurs équilibrés, un par phase, ainsi qu'un transformateur triphasé de potentiel ou deux transformateurs monophasés de potentiel pour l'ensemble. Cette précaution est indispensable dans le cas particulier envisagé, car,

avec le montage ordinaire, les relais du côté barres réceptrices auraient tendance à ne pas fonctionner s'il y avait égalité des courants de défaut circulant aux extrémités du côté sous-station, ce qui n'est possible que dans le cas de deux feeders seulement.

Nous ferons cependant observer que, généralement, lorsqu'il y a soit une seule paire de câbles, soit plusieurs paires de câbles indépendants partant d'une même station génératrice, il sera suffisant de prévoir pour chacune des paires de câbles, du côté station génératrice seulement, le montage de deux relais et deux transformateurs d'intensité, la sélection s'appliquant dans ce cas aux paires de câbles en cas de mise à la terre par la mise hors service de la paire sur laquelle le défaut se produit. Il arrivera au surplus, assez souvent, que chaque paire de feeders sera desservie par un seul disjoncteur dans l'huile, la séparation des câbles se faisant au moyen de simples sectionneurs.

Enfin, et toujours dans le cas envisagé ci-dessus, la protection contre tout défaut à la terre s'étendra à toute la partie de l'installation située au delà des transformateurs d'intensité, en s'éloignant de la station génératrice, c'est-à-dire que le fonctionnement des relais se produira pour toute mise à la terre dans la sous-station et au delà.

On notera enfin, comme autre avantage, que la mise hors circuit d'un câble defectueux n'empêchera pas la remise en service de l'autre câble qui restera protégé par une protection équivalente à la protection Ferranti-Field. C'est de cette façon que seront protégés les nouveaux câbles doubles souterrains sur le réseau de la Société parisienne de Distribution d'Electricité.

Il est bien entendu que le système Ferranti-Waters n'est pas destiné à protéger contre les courts-circuits ou contre les ruptures de courant accidentelles sur une phase ou deux. Il protège seulement contre les mises à la terre et le déséquilibre qui en résulte en

mettant hors circuit les feeders sur lesquels se produit une terre. Cependant, on peut affirmer que 99 fois sur 100, il n'y a pas de court-circuit ni de rupture accidentelle de circuit sans mise à la terre et, dans ce cas, la protection fonctionne d'une manière entièrement satisfaisante.

VI. Conclusions. — Nous croyons utile de résumer brièvement comme suit les avantages que ce système présente sur ceux décrits par ailleurs dans différents périodiques :

- a) Extrême simplification de l'appareillage ;
- b) Absence de fils pilotes ;
- c) Très grande sensibilité ;
- d) Grande robustesse de l'appareillage et des transformateurs d'intensité, ces derniers n'ayant pas à être isolés pour la tension normale d'exploitation ;
- e) Grande stabilité de fonctionnement, car, avec l'emploi des transformateurs spéciaux Ferranti-Field, il n'y a nullement à craindre de déclenchement intempestif pouvant être occasionné par la mise en série de transformateurs équilibrés et les difficultés de réglage qui en résultent ;
- f) Pour la même raison, les différences pouvant se produire entre les impédances des câbles en parallèle n'ont pas d'importance, tandis qu'elles sont une source de difficultés avec les transformateurs équilibrés ;
- g) Absence de connexions de potentiel et de circuit de tension pour les relais directionnels.

Nous venons d'examiner rapidement l'application du système Ferranti-Waters à des réseaux ne comportant pas de mise à la terre ; mais il est évident qu'il convient particulièrement bien lorsque le point neutre est à la terre par l'intermédiaire d'une résistance calculée de manière à limiter à une valeur déterminée le courant de fuite.

Paul TESTARD.
Ingénieur, Ferranti Limited.

Sur les turbines à gaz et à pétrole

Sous le titre « la turbine à gaz et à huile » nous avons publié, dans le numéro de décembre 1921, t. X, p. 819-821, une analyse d'un article plus étendu de M. W. Schüle paru dans l'« Elektrotechnische Zeitschrift » des 21 et 23 juillet (1). Nous recevons à ce sujet la note suivante dans laquelle l'auteur discute les résultats des essais faits, d'une part, sur la turbine Lemule-Armengaud, d'autre part, sur la turbine Holzwarth et montre que les uns et les autres ne peuvent manquer de contribuer à la mise au point de la turbine à gaz ou à pétrole.

L'article du professeur Schüle, de Gorlitz, paru dans « l'Elektrotechnische Zeitschrift », et dont il a déjà été

(1) Signalons une erreur commise dans cette analyse par suite d'une faute d'impression dans la seconde formule de la deuxième colonne de la page 320 donnant la valeur du rendement η . La formule est

$$\eta = \frac{L}{L_1 - L_2} = \eta_1 - \frac{1 - \frac{1}{\eta_1 \eta_2} \frac{L_2}{L_1}}{1 - \frac{L_2}{L_1}}.$$

Un peu plus loin, il est dit que pour des valeurs de η_1 et η_2

question dans ce journal, mérite d'être examiné de près et vaut une réponse.

En effet, la question des turbines à gaz est d'un puissant intérêt. Beaucoup d'ingénieurs en cherchent la solution et il est très important de mettre en garde contre les études qui se feraient dans une fausse direction. C'est par des erreurs de principe, surtout, que les

égales à 0,67, le rendement s'annule pour $\frac{L_2}{L_1} = \frac{4}{6}$. C'est à qu'il faut lire.

industriels s'engagent dans des recherches qui leur coûtent beaucoup d'argent et les découragent.

D'autre part, M. Schüle fait un parallèle entre les essais de la turbine Lemale-Armengaud, en France, et ceux de la turbine Holzwarth, en Allemagne, concluant que les turbines à combustion sous pression constante ne peuvent pas réussir et que seules les turbines à explosion, comme celle de M. Holzwarth, ont l'avenir devant elles.

Il semble, au contraire, que la turbine à combustion présente une conception plus heureuse, mais cependant que les deux types de turbines devront se développer parallèlement, comme le moteur Diesel, s'est, dans les moteurs à piston, largement fait sa place à côté du moteur à explosion.

Les essais ont été beaucoup plus poussés sur la turbine Holzwarth; il n'en est pas moins vrai que, pour que celle-ci devienne industrielle et ait le rendement qu'une turbine à gaz ou à pétrole doit réaliser, il y a autant de transformations, et aussi radicales, à faire dans cette turbine que dans la turbine Lemale-Armengaud.

M. Schüle affirme que les essais de la turbine Lemale-Armengaud ont complètement échoué. Il veut dire par là que l'on n'a pas obtenu un rendement satisfaisant, mais ces essais ont donné sur différents éléments, chambre de combustion, tuyère, turbine, etc., des renseignements très intéressants. Les défauts sont reconnus et les solutions qui se présentent permettraient d'arriver à un résultat satisfaisant, si ces essais étaient repris avec un autre programme.

On a rencontré, en Allemagne, des difficultés bien plus grandes avec la turbine Holzwarth; on les a en partie vaincues grâce à la persévérance des constructeurs.

M. Schüle compare, avec raison, la turbine Holzwarth avec le moteur à piston de Langen et Otto. Ce moteur fut extrêmement remarquable, mais c'était au début des moteurs à gaz. Beaucoup de perfectionnements sont intervenus depuis et il vaudrait mieux qu'une turbine fût étudiée sur les indications des moteurs à piston les plus perfectionnés.

C'est qu'en effet les principes de thermodynamique sont invariables et s'appliquent aussi bien à l'une des sortes de machines qu'à l'autre, de sorte que, pour se guider dans l'étude des turbines à gaz, il faut avoir constamment à l'esprit l'histoire et l'expérience des moteurs à piston.

Or, cet historique peut se résumer rapidement ainsi :

Au début, on a construit des moteurs à explosion sans compression, qui donnaient un assez pauvre rendement, ensuite des moteurs à compression de plus en plus élevée.

Quand on est arrivé à des compressions qui devenaient dangereuses avec certains combustibles, soit à cause des effets trop violents de l'explosion dans les cylindres, soit à cause des explosions prématurées avant la fin de la compression, on a dû injecter le com-

bustible dans l'air comprimé à la fin de la compression et éviter que la combustion fasse une trop grande élévation de pression. Ce fut l'origine des moteurs Diesel.

En tous temps on a cherché à refroidir les cylindres et à utiliser les chaleurs perdues en injectant de l'eau dans les cylindres. Malheureusement les moteurs à piston s'y prêtent mal parce que la détente y est limitée par la course du piston et que, si l'on ajoute de la vapeur au volume des gaz brûlés, on a, en pure perte, une pression plus grande à l'échappement.

Il faut donc chercher à utiliser les chaleurs perdues au moyen de la vapeur, d'une autre manière. C'est ce qui est réalisé dans le nouveau moteur Still qui donne un rendement si remarquable.

Mais il faut bien noter que la turbine diffère du moteur à piston en ce qu'elle permet la détente complète, même au-dessous de la pression atmosphérique et que, dans ces conditions, il n'y a pas les mêmes raisons d'éviter le refroidissement par injection d'eau ou de vapeur.

Enfin, ce qu'il faut noter encore comme étant, à mon avis, essentiel, c'est qu'on a construit un grand nombre de moteurs à gaz avec compression préalable dans un compresseur séparé. Ces moteurs se sont montrés très supérieurs au point de vue mécanique, mais aucun n'a pu subsister à cause d'un rendement défectueux. C'est sur ces indications qu'il faut se baser en étudiant les turbines à gaz ou à pétrole.

Je reviendrai sur ce sujet. Suivons l'article de M. Schüle.

Si je comprends bien ce qu'il dit, il compare la turbine Holzwarth où l'explosion est très rapide, un dixième de seconde, à la turbine à combustion où la combustion est continue et cite une phrase de M. Langen.

Il faut se méfier des phrases lapidaires. Ceux qui les prononcent ont souvent des réserves dans l'esprit.

Il est évident que, plus une explosion est rapide, moins il y a de pertes aux parois; mais, comme une turbine à explosion ne fonctionne qu'avec une succession rapide d'explosions, il faut multiplier les chambres d'explosion. Le résultat final se trouve bien semblable à celui d'une chambre où la combustion est continue et les pertes aux parois peuvent être mieux récupérées autour d'une chambre unique.

Il n'est pas certain, d'ailleurs, qu'il soit avantageux d'avoir des explosions instantanées. La vitesse de sortie des gaz devient trop grande par rapport à celle des aubes de la turbine et ce qui est économisé dans la perte aux parois, est perdu à l'échappement.

M. Schüle critique ensuite le refroidissement des gaz brûlés par l'injection d'eau ou de vapeur dans la chambre de combustion, qui était l'une des principales caractéristiques de la turbine Lemale-Armengaud. Selon lui, abaisser la température, c'est donner un coup fatal au rendement.

M. Schüle a-t-il bien raison de critiquer cet emploi

d'eau ou de vapeur et la turbine Holzwarth pourrait-elle continuer à s'en passer?

M. Sekutowitz, dans sa très remarquable conférence à la Société des Ingénieurs civils en 1906, a montré d'une façon frappante, que l'injection d'eau dans la chambre de combustion n'influe pas d'une façon considérable sur le rendement et présentait certains avantages.

Dans la turbine Holzwarth, on n'injecte pas d'eau, mais on est obligé de refroidir les aubes avec une injection d'air froid. M. Schüle reconnaît que l'on rencontre là une difficulté qu'il faudra vaincre et qu'il faudra injecter cet air avec une pression plus élevée afin que, par sa détente, le jet d'air ait une vitesse supérieure.

Vaut-il mieux injecter l'air froid séparément, ou le réunir aux gaz brûlés? C'est très discutable et dans la deuxième alternative M. Sekutowitz a montré que l'injection d'eau donnait un bien meilleur rendement.

Ce n'est pas l'injection d'eau ou de vapeur qui a donné des résultats fâcheux avec la turbine Lemale-Armengaud, c'est l'importance du travail de la compression et, là, nous nous trouvons d'accord avec la discussion de M. Schüle pour la turbine Holzwarth.

Il rappelle que le travail effectif L d'une turbine est de la forme

$$L = \tau_1 L_1 - \frac{L_2}{\tau_2},$$

en appelant L_1 , τ_1 , le travail fourni par la turbine et le rendement organique de celle-ci et L_2 , τ_2 , le travail demandé par le compresseur et son rendement organique.

Il est certain que le travail effectif s'annule si $L_2 = \tau_1 \tau_2 L_1$.

Si on évalue généreusement le rendement organique des turbines et des turbo-compresseurs à $2/3$, il faudrait donc que le rapport $\frac{L_2}{L_1}$ ne dépasse pas $4/9$, et plus il approche de ce chiffre, plus le rendement tend vers zéro.

J'ai montré moi-même, à la suite de la conférence de M. Sekutowitz en 1906, que la compression préalable dans un compresseur séparé demandait un travail bien plus considérable que la compression dans la chambre même d'explosion ou de combustion, comme elle est effectuée dans les moteurs à piston. D'autre part, les turbo-compresseurs ne permettent pas une compression élevée et ni l'explosion, ni la combustion n'ont encore pu être réalisées dans l'intérieur d'un turbo-compresseur. Mais pourquoi s'obstine-t-on à comprimer dans des turbos pour l'alimentation des turbines à gaz, alors que le rendement du compresseur est un facteur essentiel et que le compresseur à piston a un rendement très supérieur?

Si l'on considère à nouveau l'histoire des moteurs à piston que j'établissais plus haut, on voit que ce n'est

qu'avec de hautes compressions, sans compression préalable dans un compresseur séparé de la chambre de combustion et avec utilisation des chaleurs perdues par la vapeur d'eau, que la turbine à gaz doit réussir, en profitant de l'expérience du moteur à piston.

La turbine de M. Holzwarth fonctionne avec une très faible compression, 1 à 2,5 kg : cm², son rendement est insuffisant. Les essais ont donné tout ce qu'ils pouvaient donner.

Si on voulait augmenter la compression, injecter l'air froid à plus haute pression, avec les procédés actuellement employés, le travail de compression deviendrait une charge que la turbine ne pourrait supporter, aussi son rendement ne pourrait guère s'améliorer.

M. Schüle met en parallèle le rendement encore plus faible de la turbine Lemale-Armengaud dont la compression était de 2 kg : cm². Mais jadis un moteur à piston donnait un rendement appréciable avec une faible compression, même sans compression. Si l'on voulait réaliser un moteur à combustion à piston avec une compression limitée à 2 kg : cm², il donnerait un bien plus mauvais rendement. Ce n'est qu'aux compressions élevées que les deux types de moteur à piston, à explosion et à combustion, sont comparables. Là encore la comparaison de la turbine Lemale-Armengaud et de la turbine Holzwarth, telle que l'a faite M. Schüle, n'est pas justifiée et là encore il faut se reporter aux exemples fournis par les moteurs à piston.

Cherchons donc, avec obstination, à réaliser une turbine à gaz ou à pétrole en nous servant de ces directives et profitons des expériences actuellement faites.

Celles de la turbine Holzwarth sont du plus haut intérêt, car M. Schüle affirme que le rendement de cette turbine est supérieur à celui des moteurs à piston de la même famille, c'est-à-dire, jadis exécutés avec la même compression.

Ceci est capital, parce que l'on en peut conclure que les avantages de la turbine, détente complète, pertes aux parois réduites, dépassent les inconvénients du plus faible rendement organique de la turbine. Et ceci est tout particulièrement à considérer avec la turbine Holzwarth où les gaz sont envoyés aux aubes, par impulsions successives, ce qui est certainement moins avantageux que s'ils étaient envoyés d'une façon continue, avec possibilité d'utiliser des couronnes multiples, comme le permettrait la turbine à combustion.

Ceci semble établir par une épreuve industrielle, que la turbine à gaz ou à pétrole, quand on l'aura construite avec les perfectionnements que l'on a réalisés dans les moteurs à piston, aura, d'une façon générale, un rendement égal ou supérieur à celui des moteurs à piston en présentant, d'autre part, les avantages qui ont fait préférer la turbine à vapeur pour les centrales électriques et la navigation.

Jules DESCHAMPS.

Revue, analyses et informations

Système de commande multiple pour véhicules électriques ⁽¹⁾.

Depuis plusieurs années, la Société Brown-Boveri emploie pour la commande des véhicules à courant monophasé un gradateur de tension (fig. 1). Cet appareil a l'avantage sur

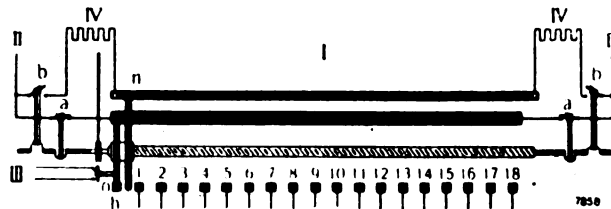


Fig. 1. — Gradateur de tension.

I, rails principal et auxiliaire; II, conducteurs allant aux moteurs; III, fils de contrôle et de verrouillage; IV, résistances de court-circuit; a, b, ruptures d'étincelles; n, h, balais principal et auxiliaire; 0-18, touches et conducteurs venant du transformateur.

les commandes par contacteurs d'assurer par lui-même le verrouillage nécessaire entre les différentes prises du transformateur.

Le principe du gradateur de tension est le suivant : un système de balais se composant d'un balai principal et d'un balai auxiliaire est entraîné par la rotation d'une tige filetée et se déplace le long des touches qui sont reliées aux prises du transformateur. Lors du passage d'une prise à la suivante, deux touches voisines entre lesquelles règne une différence de potentiel égale à celle des deux prises correspondantes du transformateur sont momentanément court-circuitées par une résistance insérée entre les deux balais. Le passage s'effectue sans la moindre production d'étincelles aux balais, car le feu de commutation est limité exclusivement à une ou plusieurs paires de rupteurs d'étincelles accouplés avec la tige filetée et pourvus de soufflage magnétique.

Le gradateur de tension est d'une sécurité et d'une simplicité remarquables, il est d'un poids et d'un encombrement de beaucoup inférieurs à ceux d'un système à contacteurs ; il a donné en service des résultats excellents ; aussi est-il appliqué sur les nouvelles locomotives monophasées des chemins de fer fédéraux suisses, d'une puissance unihoraire de 2 400 ch.

Pour les puissances élevées comme celles des locomotives des chemins de fer fédéraux, le gradateur de tension est actionné à l'aide d'un servo-moteur. L'emploi du servo-moteur est également nécessaire pour la commande par unités motrices multiples.

La commande multiple par servo-moteur comprend essentiellement les appareils suivants (fig. 2) : l'appareil d'actionnement, les relais de commande et les contrôleurs de commande.

L'appareil d'actionnement est représenté sur la figure 3.

On voit sortir de la partie antérieure (à droite sur la figure 3) l'arbre sur lequel est calée la roue à chaîne à jante élastique qui sert à actionner le gradateur. Cette partie de l'appareil comprend en outre un engrenage, un accouplement à friction disposé entre le servo-moteur et l'arbre d'actionnement et un cliquet d'arrêt commandé par un électro-aimant de

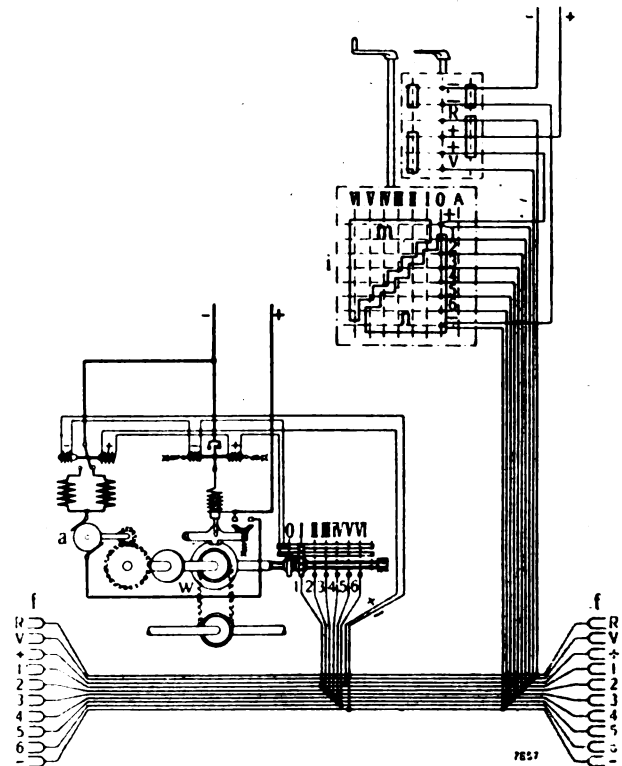


Fig. 2. — Commande multiple pour locomotive monophasée.

a, servo-moteur; f, coupleur pour fils de contrôle; i, contrôleur de commande avec inverseurs de marche; m, armature positive du tambour de commande; n, armature négative du tambour de commande; W, disque d'arrêt avec accouplement à friction; V, fils de contrôle pour marche avant; R, fils de contrôle pour marche arrière; 0, I-VI, différentes positions de marche; 1, 2, 6, fils de contrôle.

verrouillage. La carcasse de l'aimant de verrouillage montée sur la partie antérieure de l'appareil d'actionnement porte également le contact d'enclenchement du servo-moteur. Celui-ci est monté sur la partie postérieure de l'appareil d'actionnement, laquelle comprend, en outre, le contrôleur auxiliaire de commande ou dispositif répéteur visible sur la figure. Le servo-moteur fait ainsi tourner la tige filetée du gradateur, jusqu'à ce que le dispositif répéteur arrive à la position prescrite par le mécanicien sur le tambour de commande.

Les deux relais de commande, représentés schématiquement sur la figure 3, de même que l'interrupteur du groupe de commande sont fixés sur un tableau. En dessous des relais, le tableau porte une plaque de connexions des fils du circuit de contrôle.

⁽¹⁾ *Revue B. B. C.*, juin 1921, t. VIII, p. 119-128, 6500 mots, 15 figures.

Le principe de la commande est le suivant : les fils de contrôle (pour simplifier on n'en a représenté que 6 sur la figure 2) qui partent du contrôleur de commande sont partagés en deux groupes distincts reliés à des pôles de noms contraires par les deux armatures m et n du tambour de

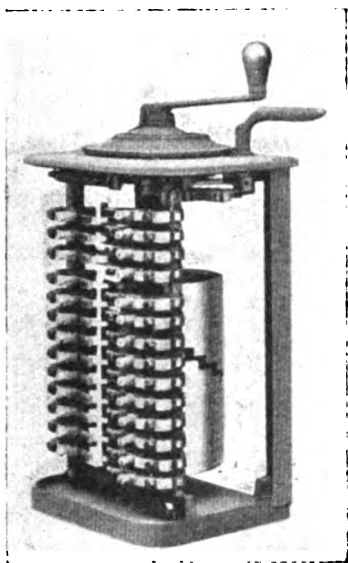


Fig. 3. — Appareil d'actionnement du gradateur de tension.

commande. Dans la position 0 du contrôleur de commande, tous les fils de contrôle sont reliés au pôle négatif, tandis que, dans la dernière position de marche (position VI), tous les fils sont en communication avec le pôle positif de la source de courant.

Le contrôleur de commande a, en outre, une position d'isolement A pour laquelle tous les fils de contrôle sont entièrement déconnectés. Ce n'est que lorsque le tambour est dans cette position que le mécanicien peut enlever la manivelle de commande en quittant son poste pour la transporter sur un autre contrôleur.

Du balai de droite du dispositif répéteur part un circuit de bobines de relais dont l'extrémité est reliée au pôle négatif de la source de courant ; par contre, le circuit de bobines de relais aboutissant au balai de gauche est connecté au pôle positif de la source de courant.

Il en résulte que le premier circuit de bobines de relais ne sera traversé par un courant que lorsque le balai correspondant entrera en contact avec une touche du dispositif répéteur reliée au pôle positif de la source de courant. Dans le deuxième circuit, par contre, il ne circulera un courant que lorsque le balai correspondant sera en contact avec une touche qui communique avec le pôle négatif de la source de courant.

L'établissement du courant dans l'un ou l'autre de ces deux circuits provoquera la rotation du servo-moteur, qui durera jusqu'à ce que ce courant cesse par le fait que les deux balais du dispositif répéteur sont arrivés sur des touches de différente polarité ou que dans les positions extrêmes l'un des balais a dépassé toutes les touches.

Pour faciliter la compréhension du fonctionnement du système, examinons un cas concret. Le cylindre d'inversion de marche est placé dans une des deux positions avant ou arrière. Amenons le tambour de commande dans la posi-

tion III (fig. 2). Les fils de contrôle 1, 2, 3 sont alors reliés au pôle positif et les fils 4, 5, 6 au pôle négatif de la source de courant. Le balai droit du dispositif répéteur étant en contact avec la touche 1 (fig. 1), un courant passe à travers la bobine du double relais d'enclenchement de l'électro-aimant de verrouillage et la bobine du relais d'inversion de marche du servo-moteur et revient au pôle négatif de la source de courant. Sous l'action du courant, le relais d'enclenchement de l'électro-aimant de verrouillage dégage le cliquet d'arrêt de l'encoche du disque d'arrêt et le contact d'enclenchement du servo-moteur se ferme. Ce servo-moteur est un moteur série à deux enroulements d'excitation, l'un pour la marche avant, l'autre pour la marche arrière du servo-moteur. Le relais d'inversion de marche ferme le circuit de la bobine d'excitation correspondant à la marche avant et le servo-moteur démarre dans un sens tel que les balais du gradateur se déplacent dans le sens des tensions secondaires croissantes.

Après un quart de tour de l'arbre d'actionnement, le balai droit du dispositif répéteur quitte la touche 1, ce qui coupe le circuit des bobines de relais correspondant et met l'électro-aimant de verrouillage hors circuit. Cependant, le nez du cliquet d'arrêt ne peut retomber dans l'encoche avant que le disque d'arrêt ait fait un tour complet. Le contact d'enclenchement du servo-moteur reste donc fermé. Au bout de trois quarts de tours de l'arbre d'actionnement, le balai mobile droit vient en contact avec la touche 2 du dispositif répéteur. Le tambour de commande ayant été placé dans la position III, la touche 2 communique aussi avec le pôle positif de la source de courant ; il en résulte qu'un courant retransmet le circuit des bobines de relais connecté au balai droit et que, par suite, l'électro-aimant de verrouillage est de nouveau mis en circuit, le nez du cliquet de verrouillage ne peut tomber dans l'encoche du disque d'arrêt qui continue à tourner. L'arbre d'actionnement commence un second tour. En même temps que le balai droit s'est déplacé sur la touche 2, le balai de gauche est venu en contact avec la touche 1 du dispositif répéteur, mais aucun court-circuit ne traverse le circuit de relais connecté au balai gauche, car alors les deux extrémités de ce circuit sont toutes deux branchées sur le pôle positif de la source de courant.

Les opérations se poursuivent jusqu'à ce que le balai mobile droit ait atteint la touche 4 du dispositif répéteur. A cet instant, le circuit comprenant le balai droit est relié des deux côtés au pôle négatif et le circuit comprenant le balai gauche, au pôle positif de la source de courant. Les deux circuits des bobines de relais ne sont plus excités, l'électro-aimant de verrouillage laisse tomber le cliquet dans l'encoche du disque d'arrêt, le mouvement de commande est arrêté et le servo-moteur est déconnecté de la source de courant.

L'accouplement à friction logé dans la carcasse de l'appareil d'actionnement absorbe l'énergie cinétique emmagasinée dans le rotor du servo-moteur. L'accouplement à friction est réglé de façon à pouvoir transmettre une force égale à environ le double de la valeur requise pour faire tourner la tige filetée du gradateur de tension. Le moment de frottement de l'accouplement est pratiquement invariable, car la carcasse de l'appareil d'actionnement étant remplie d'huile jusqu'à un certain niveau, le renvoi d'engrenages, le dispositif de verrouillage et les surfaces frottantes de l'accouplement sont constamment et largement lubrifiées et travaillent, par suite, dans des conditions sensiblement constantes. Pour assurer un fonctionnement particulièrement doux du mécanisme, bien que l'énergie cinétique des organes

du gradateur soit minime. la roue à chaîne calée sur l'arbre d'actionnement a été pourvue d'une jante élastique.

Si on porte le tambour de commande à une position au delà de la position III, tout se passera comme il vient d'être dit. Lorsqu'on ramène en arrière le tambour de commande, les opérations sont les mêmes, à cela près que c'est le deuxième circuit de relais qui sera parcouru par un courant; le relais d'inversion de marche du servo-moteur enclanchera la bobine d'excitation de marche arrière et le servo-moteur tournera en sens inverse.

Les enseignements de la pratique ont montré que, pour une machine de grandes lignes, une durée de 11 à 12 secondes est suffisante pour permettre aux balais de parcourir 18 touches d'un gradateur, ce qui correspond à 2/3 de seconde pour passer d'une touche à la suivante. On pourrait cependant, si on le désirait, réduire à 7 à 8 secondes la durée de parcours des 18 touches.

Pour marcher en unités multiples, il suffit de relier les différents dispositifs répéteurs au câble de commande partant du contrôleur de commande et traversant le train. Ce câble n'a à transmettre que l'énergie nécessaire pour le fonctionnement des relais de commande, soit environ 100 w par groupe d'actionnements. Par contre, chaque véhicule moteur doit fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement des servo-moteurs et des relais de verrouillage.

Un anneau visible sur la figure 3 permet d'enlever la tige d'accouplement entre le gradateur et l'appareil d'actionnement et de rendre par suite ces deux organes indépendants l'un de l'autre. Une manivelle emmanchée sur la tige filetée du gradateur peut être utilisée pour la commande de cet appareil à la main. Un verrouillage mécanique empêche d'introduire la tige d'accouplement, avant que le gradateur de tension et l'appareil d'actionnement soient dans la bonne position l'un par rapport à l'autre.

La commande du gradateur exige un nombre de fils de contrôle égal à celui des touches (ordinairement 18, non compris la position 0), plus deux.

En principe, on peut employer pour la commande aussi bien du courant alternatif que du courant continu. Cependant, jusqu'ici, on n'a utilisé que du courant continu sous les tensions de 220, 110 et 36 v fourni par un groupe convertisseur et une batterie montés en parallèle. L'avantage de cette disposition est de rendre le fonctionnement de la commande indépendante de la ligne de contact.

Cependant, la simplification conduira à utiliser pour les services auxiliaires le même courant que pour la traction. Le système de commande BBC se prête très bien à l'emploi du courant alternatif. On peut même supprimer les deux relais de commande en utilisant un second électro-aimant de verrouillage (fig. 4). Dans ce cas, le câble de commande traversant le train doit transmettre directement toute l'énergie électrique nécessaire pour l'excitation des bobines des électro-aimants de verrouillage qui est de 1 500 v-a environ par appareil d'actionnement. L'inverseur de marche du servo-moteur est alors actionné directement par les deux électro-aimants de verrouillage.

Le schéma de la figure 5 prévu pour 6 gradins comme celui de la figure 3 possède deux fils de contrôle, fils 0 et fil 7 en plus. Ces fils supplémentaires ont pour avantage de permettre que les deux groupes de touches des polarités différentes du contrôleur de commande et du dispositif répéteur soient constamment séparés par deux touches neutres, ce qui est utile dans le cas où on emploie une tension relativement élevée pour la commande.

Quand on n'utilise pas la commande par unités multiples, mais celle d'un seul véhicule depuis deux postes de mécani-

en, le schéma de la figure 3 basé sur le principe de la commande par bouton de pression, pourra être employé. Le contrôleur de commande actionné par le mécanicien remplira les fonctions du double relais d'enclenchement et du relais d'inversion de marche du servo-moteur; ce dispositif répéteur sera réduit à un double interrupteur de fin de course.

On n'a besoin que de 4 fils de contrôle, d'un fil pilote et d'un fil de verrouillage quel que soit le nombre de touches.

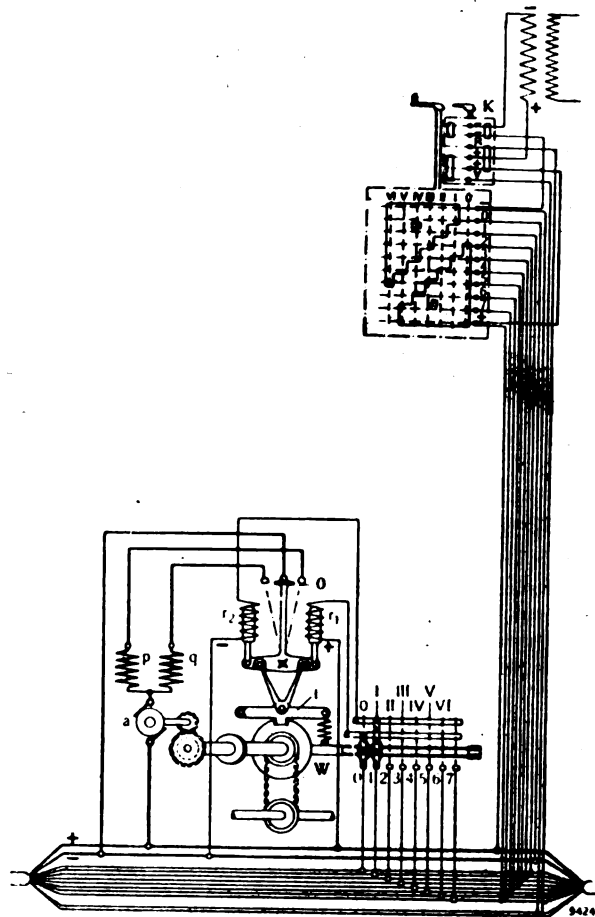


Fig. 4. — Commande multiple sans relais de commande.

a, servo-moteur; p, q, enroulements de champ pour marches avant et arrière du servo-moteur; r_1 , r_2 , bobines des électro-aimants de verrouillage pour marches avant et arrière du servo-moteur; o, contact d'enclenchement du servo-moteur; i, contrôleur de commande; K, inverseur de marche; m, n, armatures négative et positive du tambour de commande; W, disque d'arrêt avec accouplement à friction; t, cliquet d'arrêt; O, I-VI, différentes positions de marche; 0-7 fils de contrôle.

Si le mécanicien porte la manivelle du contrôleur en avant, le servo-moteur est enclenché pour la marche avant où il reste jusqu'à ce que la manivelle soit amenée à la position O. Si la manivelle est maintenant déplacée en arrière, le servo-moteur tournera en sens inverse.

Dans chaque poste de mécanicien, la tension de la touche atteinte par le gradateur de tension est indiquée par un voltmètre relié au fil pilote. Le fil de verrouillage a pour but de ne libérer le tambour de commande de l'inverseur de marche que dans la position O du gradateur de tension.

Le même système de commande peut être utilisé sur les véhicules à courant continu pour l'actionnement des contrô-

leurs centraux sur lesquels le déplacement d'un cran au suivant correspond à une rotation d'environ 15° du tambour

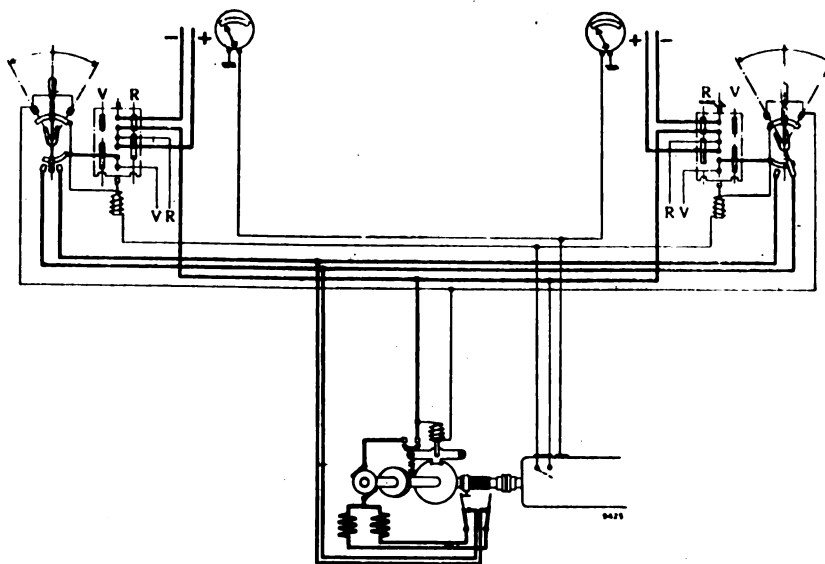


Fig. 5. — Commande individuelle d'un véhicule de deux postes de mécanicien.
V, R, positions et fils de contrôle pour marches avant et arrière.

principal. La figure 6 représente un appareil d'actionnement de contrôleur à courant continu. La rotation totale de l'arbre de commande doit être légèrement inférieure à 360° . Le dispositif répéteur a une forme circulaire, sa subdivision cor-

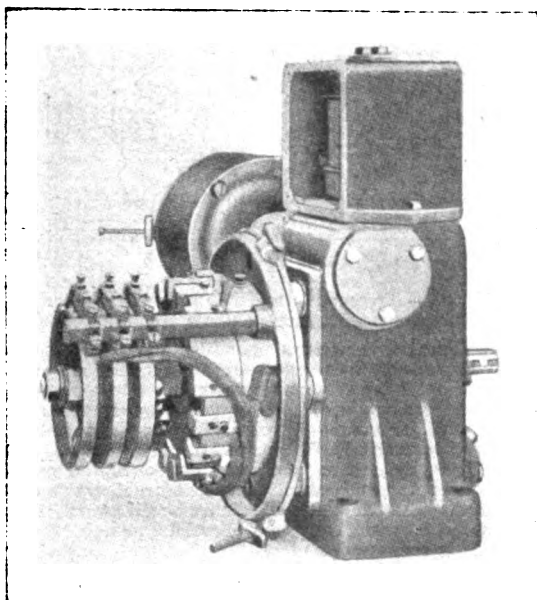


Fig. 6. — Appareil d'actionnement pour contrôleurs de véhicules à courant continu.

respond à celle du contrôleur central à actionner. Les encoches du disque d'arrêt sont établies en conséquence.

Le mouvement du servo-moteur est transmis à l'arbre d'actionnement par un engrenage à vis sans fin. La vitesse

normale de l'appareil est de $1/5$ de seconde par cran. Pour un tambour principal à 12 crans, la durée de la manœuvre entre les deux positions extrêmes est de 2,5 secondes.

Avec ce dispositif le véhicule peut ne posséder qu'un seul contrôleur principal, logé sous la caisse ou à l'intérieur de la voiture, un manipulateur placé dans chaque cabine de manœuvre, assure le fonctionnement du contrôleur principal.

Pour les locomotives à courant continu, de fortes puissances et à haute tension, le contrôleur central ordinaire ne peut plus suffire. On peut alors adopter un système de commande établi sur le même principe que le gradateur de tension des locomotives à courants alternatifs, c'est-à-dire un dispositif dont les organes principaux de distribution sont couplés entre eux et dont l'ensemble est actionné par servomoteur. On peut, en particulier, accoupler mécaniquement les régulateurs des résistances de démarrage entre eux et avec les interrupteurs de groupage des moteurs de traction. On les constitue alors par une ou plusieurs séries de touches sur lesquelles des balais passent sans production d'étincelles, tandis que l'arc de commutation pour le passage d'une touche à la suivante est localisé sur des moteurs d'étincelles spéciaux.

La figure 7 donne le schéma de principe du système pour un véhicule à courant continu équipé avec deux moteurs de traction, pour la marche série-parallèle avec passage de la position série à la position parallèle par la méthode du pont.

Quatre interrupteurs de groupage I, II, III, IV actionnés sous courant suffisant pour obtenir les couplages série et parallèle. Les résistances de démarrage sont divisées en deux groupes, réglés chacun par un gradateur de résistances. Le système de balais se compose d'un balai principal et d'un balai auxiliaire reliés par un rupteur d'étincelles 1, de sorte que c'est uniquement sur ce dernier organe que se produisent les étincelles. (Les inverseurs de marche ne sont pas représentés sur le schéma).

Pour ce démarrage en série, l'interrupteur 1 se ferme, le

courant passe alors de la ligne dans le moteur 1, les résistances a — b, l'interrupteur 1, les résistances c — d, le moteur 2 et la terre. Ensuite, les deux systèmes de balais décalés d'une demi-touche se déplacent de gauche à droite, les rupteurs d'étincelles coupant l'arc de commutation au passage des différentes touches jusqu'à ce que les deux groupes

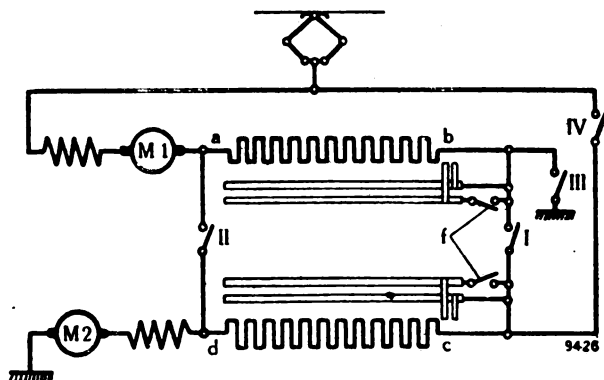


Fig. 7. — Circuits principaux d'un véhicule à deux moteurs à courant continu.

a, b, c, d, groupes de résistances de démarrage; f, rupteurs d'étincelles; I-IV, interrupteurs de groupage.

de résistances de démarrage soient complètement court-circuités. L'interrupteur II se ferme alors et l'interrupteur I s'ouvre, on est ainsi dans la position de marcher en série sans résistances.

Pour passer au couplage en parallèle, on ramène d'abord les deux systèmes de balais dans leur position initiale, on ferme les interrupteurs III et IV et on ouvre l'interrupteur II.

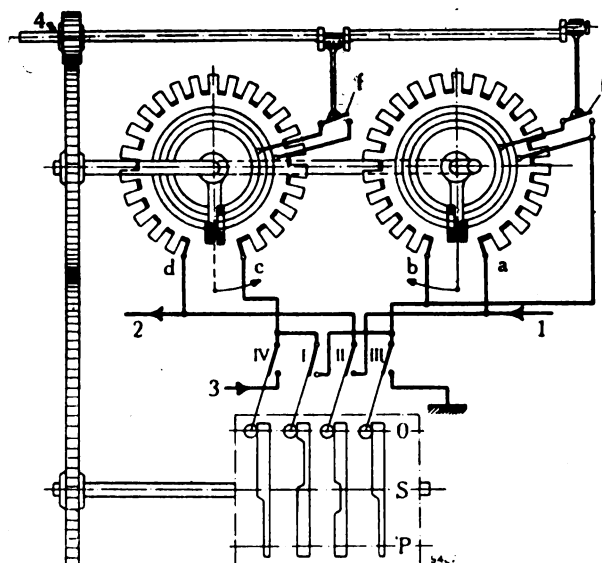


Fig. 8. — Appareils de commande accouplés mécaniquement entre eux (courant continu).

a, b, c, d, groupes de résistances de démarrage; f, rupteurs d'étincelles; I-IV, interrupteurs de groupage.

Les groupes de résistances de démarrage sont ensuite court-circuités graduellement.

Ce qui précède montre que les touches des graduateurs de

résistances doivent être parcourues deux fois de suite dans le même sens pour les balais, ceci ne pouvait être obtenu qu'en disposant les différentes touches de résistances sur une conférence parcourue deux fois de suite dans le même sens que les balais pendant le démarrage. La figure 8 représente la réalisation pratique du système; toutes les opérations sont obtenues dans l'ordre voulu par la rotation de l'arbre d'actionnement 4.

Le schéma de la figure 9 indique le système de commande pour le démarrage automatique en fonction de l'intensité

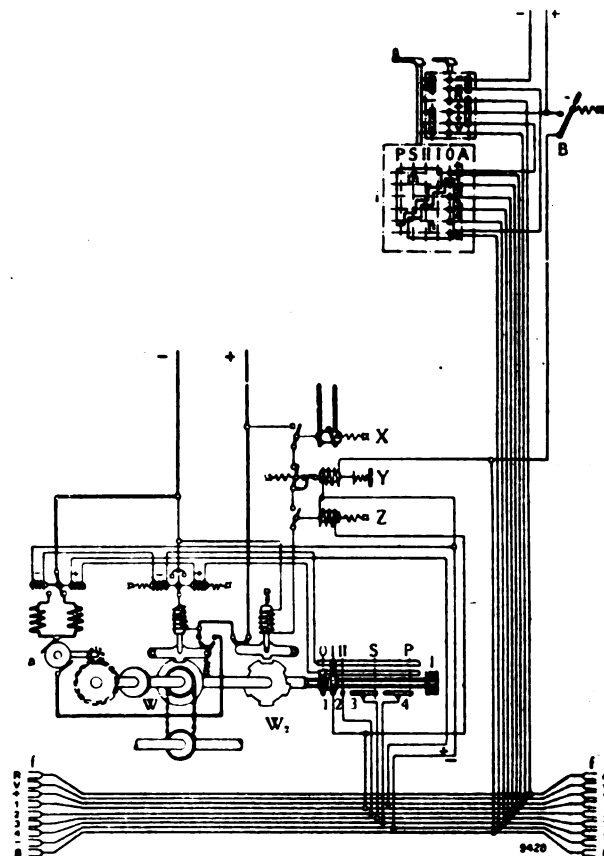


Fig. 9. — Commande multiple avec démarrage réglé automatiquement pour véhicule à courant continu.

a, servo-moteurs; f, coupleurs pour fils de contrôle; i, contrôleur de commande avec inverseur de marche; m, armature positive du tambour de commande; n, armature négative du tambour de commande; W, disque d'arrêt avec accouplement à friction; W₂, deuxième dispositif d'arrêt; V, fils de contrôle pour marche avant; R, fils de contrôle pour marche arrière; O, I, II, S, P, différentes positions; A, position d'isolement; 1, 2, 3, 4, fils de contrôle; B, interrupteur et fils de contrôle pour marche cran par cran; X, relais d'accélération; Y, relais pour couplage, cran par cran; Z, relais pour la remise en arrière de la commande.

dans les moteurs de traction. Ce schéma diffère de celui de la figure 2 par la présence d'un deuxième dispositif d'arrêt W₂ et de trois relais supplémentaires ainsi que par la réduction à quatre (indépendamment du nombre des crans) des fils de contrôle reliés au dispositif répéteur.

Le manipulateur possède six positions; la position A pour laquelle tous les fils de contrôle sont déconnectés, la position O pour laquelle les fils de contrôle sont tous reliés au pôle négatif de la source; deux positions de manœuvre I et

II; une position de marche en série S; une position de marche en parallèle P. Le système est caractérisé par le fait qu'entre les positions II et S et entre les positions S et P, les balais mobiles peuvent être bloqués un certain nombre de fois par le relais X indépendamment de la volonté du mécanicien,

Si on place le manipulateur sur une des positions S ou P, l'appareil d'actionnement est mis en mouvement et le courant de traction envoyé dans les moteurs. Le courant de traction passant par le relais X s'accroît au fur et à mesure de l'élimination des résistances de démarrage. Lorsque ce courant a atteint la valeur pour laquelle le relais X est réglé celui-ci ferme le circuit qu'il commande. D'autre part le contact du relais Y est normalement fermé, tandis que le relais Z se ferme dès que le fil de contrôle 1. est mis en communication avec le pôle positif de la source de courant, c'est-à-dire dès que le manipulateur est sur une des positions de marche. Le second aimant de verrouillage (à droite sur la figure 10) est ainsi excité, le cliquet correspondant s'engage dans une des encoches du disque d'arrêt W_2 et le courant du servo-moteur est coupé. L'appareil d'actionnement reste provisoirement dans cette position. Le train démarre et l'intensité du courant dans les moteurs de traction tombe à une valeur telle que le relais X s'ouvre de nouveau; le disque d'arrêt W_2 est libéré et le courant du servo-moteur rétabli. Les opérations continuent de la sorte jusqu'à ce que le système répétiteur ait atteint la position prescrite par le manipulateur, à ce moment le disque d'arrêt W est bloqué et le circuit du servo-moteur coupé.

Le réglage du relais X peut se faire à la main sur le relais lui-même ou depuis le poste du mécanicien par un fil de contrôle commun qui agit en même temps sur tous les relais d'accélération du train.

Il peut arriver, lorsque le train est en rampe ou en courbe, que, malgré le réglage des relais d'accélération à leur plus haute valeur, le courant des moteurs ne soit pas suffisant pour faire démarrer le train. Le mécanicien peut alors, à l'aide de l'interrupteur B, provoquer le démarrage.

La fermeture de B provoque l'excitation du relais Y qui ouvre le circuit de l'électro-aimant de verrouillage du disque d'arrêt W_2 et le referme aussitôt, la courte durée de l'ouverture du circuit a suffi pour dégager le cliquet d'arrêt de W_2 et la commande peut avancer d'un cran. La répétition de la manœuvre à l'aide de l'interrupteur B permet ainsi au mécanicien de faire avancer la commande cran par cran malgré le verrouillage du relais d'accélération.

Si malgré la manœuvre de l'interrupteur B le disque d'arrêt W_2 reste verrouillé, le mécanicien ramènera son manipulateur à la position O ce qui aura pour conséquence de relier le fil de contrôle 1 au pôle négatif de la source de courant et par suite d'ouvrir le relais Z, ce qui entraîne la libération du disque d'arrêt W_2 .

Le système qui vient d'être décrit peut être complété par le dispositif de « l'homme mort » qui provoque la coupure du courant de traction si le mécanicien abandonne la manivelle du manipulateur. — H. C.

Nouveau type d'isolateur à suspension ⁽¹⁾

Les isolateurs Hewlett présentent, comme on le sait, une infériorité marquée par rapport aux isolateurs à suspension du modèle à chapeau, au point de vue de la résistance au claquage et en ce qui concerne la limite de la tension à laquelle se produit l'amorçage de l'arc. Si la technique les emploie,

(1) SCHNEID. E. T. Z., 19 novembre 1921, t. XLII, p. 1323-1325, 1 000 mots, 5 fig.

malgré ces caractéristiques électriques désavantageuses, il faut en chercher la raison dans les résultats nettement défavorables donnés, dans les premières installations, par les isolateurs à chapeau et dus au mode de liaison rigide adopté pour réunir entre eux le fer, la porcelaine et le ciment de scellement; ces diverses matières, ayant chacune un coefficient de dilatation différent, les variations de température donnent naissance à des efforts de tension mécanique anormaux qui provoquent des fissures dans la porcelaine et amènent la mise hors de service de l'isolateur. Dans l'idée d'obvier à l'inconvénient signalé, la fabrique de porcelaine H. Schomburg et Söhne A. G., a étudié et construit un isolateur breveté en Allemagne sous le n° 295 467, caractérisé par un système de liaison élastique de la ferrure et de la porcelaine, et représentant, par rapport à l'isolateur à chapeau, un progrès sensible tant au point de vue électrique que mécanique (fig. 1 et 2).

Le nouvel isolateur se distingue, en particulier, du modèle ordinaire, par la forme arrondie de la tête et par le mode d'as-

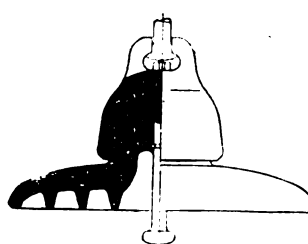


Fig. 1.

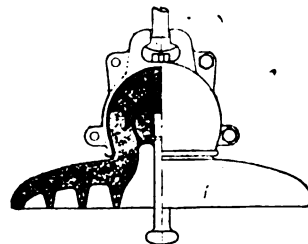


Fig. 2.

semblage à l'aide d'une boule de porcelaine présentant, suivant un diamètre, deux faces aplaties et venant s'engager dans une cavité ménagée dans le corps de l'isolateur proprement dit (fig. 3). La boule est introduite dans son logement,

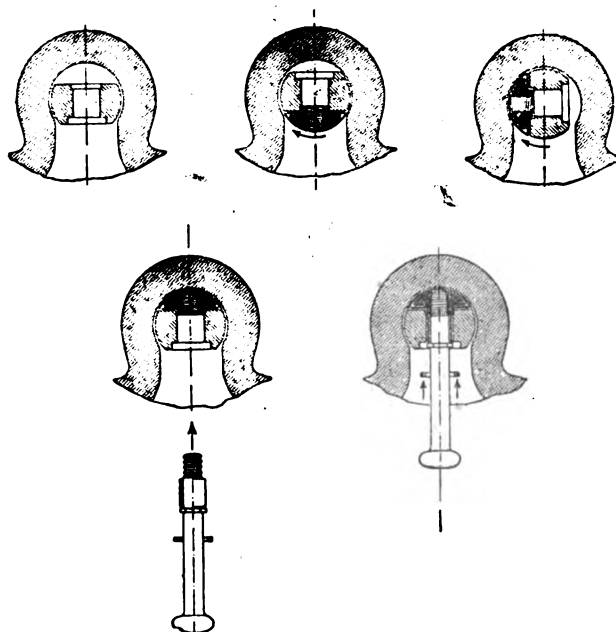


Fig. 3.

à l'intérieur de la tête après cuisson préalable déterminant le retrait habituellement observé avec la porcelaine (soit 18 à 20 pour 100) et avant que la tête elle-même ait été soumise à la cuisson; les deux pièces ainsi disposées sont portées en-

semble dans le four et chauffées de manière à réaliser le retrait normal de la tête en utilisant un procédé qui évite le soudage des parties en contact.

L'armature métallique de l'isolateur comprend : un chapeau en une ou plusieurs pièces, une tige supportant un filet de vis et un écrou façonné sur une de ses faces en forme de calotte sphérique. Ainsi que le montre la figure 3, cet écrou est d'abord fixé sur la boule orientée au préalable dans la direction convenable; une rotation de 180° est ensuite imprimée à l'ensemble boule et écrou et la tige peut être alors vissée sur ce dernier. Les parties métalliques situées à l'intérieur du corps de porcelaine sont recouvertes d'un revêtement élastique (constitué par du carton, par exemple) et le faible intervalle existant entre la boule de porcelaine et la cavité où elle se trouve emprisonnée est remplie, par fusion, d'une composition également élastique, afin d'assurer, par ces moyens, l'uniformité de la transmission, au corps de porcelaine, des efforts de traction appliqués à la tige-support.

La répartition des efforts s'effectuant dans des conditions particulièrement favorables et la résistance de la porcelaine à la compression présentant une valeur élevée, il s'ensuit que la rupture de l'isolateur ne peut se produire que par cisaillement complet de la tête ou par fracture de la tige-support (fig. 4) : les nombreuses expériences de laboratoire et

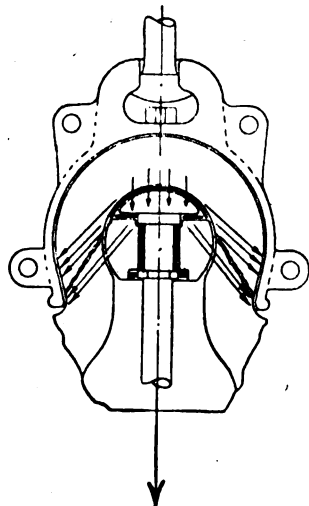


Fig. 4.

les essais de réception ont d'ailleurs montré que la boule de porcelaine résistait, de son côté, parfaitement. La résistance à la rupture du nouvel isolateur atteint 5 000 kg au lieu de la valeur 2 600 kg caractérisant l'isolateur à chapeau ordinaire.

En raison de la forme sphérique de la tête, le champ électrique produit accuse une uniformité exceptionnellement marquée; la résistance au claquage est accrue, de ce fait; elle atteint 160 à 170 kv au lieu de 130 à 150 kv pour l'isolateur à chapeau et de 100 kv pour l'isolateur Hewlett. La forme sphérique de la tête comporte, au reste, un autre avantage, dont il convient de souligner l'importance; la capacité propre de la tête est augmentée comparativement au modèle ordinaire et la répartition de la tension, le long de la chaîne, s'en trouve, par voie de conséquence, améliorée; la contrainte à laquelle est soumis l'élément inférieur, dans le cas d'une chaîne de sept éléments, étant représentée, respectivement, par 43 pour 100, 32 pour 100 et 25 pour 100 de la

tension totale appliquée, suivant qu'il s'agit d'isolateurs Hewlett, d'isolateurs à chapeau ordinaires ou d'isolateurs du nouveau type. Il en résulte que le nombre d'éléments, calculé en se basant sur la valeur admissible de ladite contrainte, peut être réduit, en proportion, avec l'isolateur à tête sphérique, et l'on trouve, effectivement, qu'une chaîne d'isolateurs de ce type, comportant trois à quatre éléments, est équivalente, au point de vue envisagé, à une chaîne composée de sept éléments Hewlett. On aboutit aux mêmes conclusions, en prenant, comme terme de comparaison, les valeurs de tension respectives d'amorçage de l'arc.

On a représenté fig. 5, les contraintes auxquelles est soumis l'élément inférieur de chaînes de différentes longueurs,

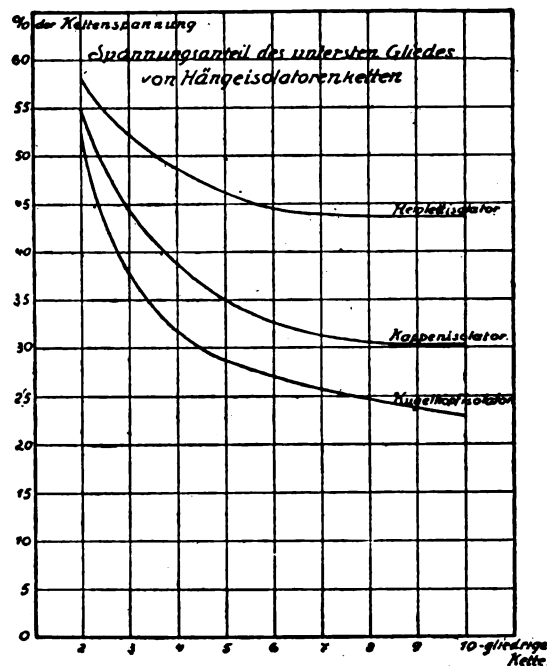


Fig. 5.

Spannungsanteil des untersten Gliedes von Hängeisolatorenketten, part de la tension totale appliquée à l'élément inférieur extrême dans des chaînes d'isolateurs à suspension; % der Kettenspannung, pour cent de la tension totale appliquée à la chaîne; Hewlettisolator, isolateur Hewlett; Kappenisolator, isolateur à chapeau; Kugelkopisolator, isolateur à tête sphérique; 10-gliedrige Kette, chaîne de 10 éléments.

exprimées en centièmes de la tension totale appliquée aux deux extrémités de la chaîne. L'examen des courbes montre qu'il n'y a guère avantage à établir les chaînes d'isolateurs Hewlett avec plus de sept éléments et celles d'isolateurs à chapeau avec plus de neuf éléments. Les conditions peuvent être, par contre, améliorées, en dépassant ces chiffres, quand il s'agit d'isolateurs à tête sphérique. La particularité signalée s'explique, pour la plus grande part, par la différence de capacité propre des isolateurs considérés. Cette capacité a été mesurée, pour chacun d'eux, au laboratoire de la firme H. Schomburg et Söhne A. G., et les résultats obtenus ont été les suivants : isolateur Hewlett 14×10^{-12} farad; isolateur à chapeau ordinaire, 30×10^{-12} farad; isolateur à tête sphérique, $55,6 \times 10^{-12}$ farad.

L'isolateur à tête sphérique est déjà en service sur quelques réseaux et son emploi est prévu pour l'établissement de nombreuses lignes de transmission.

L. D.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Compagnie générale d'Électricité.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE DU 20 DÉCEMBRE 1921.

L'exercice 1920-1921 a vu s'étendre et s'accroître la crise économique signalée dans le précédent rapport ⁽¹⁾.

La répercussion de ce fâcheux état de choses sur les résultats du 23^e exercice social de la compagnie n'a pas été ce que l'on aurait pu craindre, grâce à la diversité des fabrications de ses établissements industriels et, surtout, au relèvement accusé, dans leur ensemble, par les entreprises de distribution d'énergie électrique.

C'est ainsi que les bénéfices nets normaux de l'année sociale, qui a pris fin le 30 juin dernier, ont atteint 7223127 fr, en diminution, il est vrai, sur ceux de l'exercice précédent, mais de 147687 fr seulement.

Les bénéfices disponibles s'élèvent à 8502180 fr, compte tenu des 1279053 fr du reliquat antérieur.

Le montant des impôts que la société a eu à supporter cette année atteint 2500000 fr contre 150000 fr pour le dernier exercice d'avant-guerre.

Deux opérations très importantes ont été réalisées au cours de l'année sociale : il s'agit de l'apport ou de la cession des divisions « tubes de Vincey » et « lampes à incandescence » à des sociétés anonymes dans lesquelles la compagnie est d'ailleurs restée intéressée pour une part importante : moitié, soit 15 millions de francs dans le capital de la Société des Tubes de Vincey et un quart, soit 10 millions de francs, dans celui de la Compagnie des Lampes.

Les Etablissements industriels ont tout naturellement subi le contre-coup de la crise économique, quoique la période de juillet à décembre 1920, ait profité du carnet de commandes assez abondamment pourvu que lui avait légué l'exercice précédent.

Pour mettre un terme à l'accroissement continu des stocks, il a fallu restreindre dans de notables proportions l'activité productrice des usines et, afin d'éviter au personnel le chômage total, la compagnie a restreint le nombre des heures de travail.

La compagnie a enregistré au 30 juin 1921 une baisse des prix du cuivre et du zinc par rapport à ceux pratiqués au 30 juin 1920; la comparaison des cours de la livre aux mêmes dates fait apparaître un léger écart dans le même sens.

Société des Tubes de Vincey. — Le premier exercice social a commencé le 1^{er} juillet 1920.

Les installations comportent une aciérie, des laminoirs et de grands ateliers où seront produites les trois sortes de tubes en acier.

On procède en ce moment aux travaux de parachèvement et la mise en route successive des diverses divisions sera achevée dans le courant du premier semestre de 1922, eu retard de quelques mois sur les prévisions.

La compagnie étudie, d'accord avec ses associés, un projet de réorganisation financière.

Par prudence, il n'a pas été tenu compte dans le bilan de la quote-part du capital-actions de cette société.

Compagnie des Lampes. — En association avec la Compagnie française Thomson-Houston, de Paris, et l'International General Electric Cy, de New-York, la compagnie a pris part à la création de la Compagnie des Lampes, société anonyme au capital de 40 millions de francs, qui englobe trois des principales fabriques françaises de lampes électriques à incandescence.

Cette société, dont le siège est à Paris, 28, rue de Madrid, a été définitivement constituée le 4 juin 1921.

Le but de l'association est de mettre l'industrie française, dont les progrès ont été pour ainsi dire annihilés pendant toute la période de guerre, en mesure de profiter des améliorations considérables réalisées aux Etats-Unis, où cette industrie est née, améliorations couvertes par des brevets et des procédés secrets dont profitera, dans l'avenir comme dans le présent, la nouvelle société.

De plus, la concentration des moyens de production et la spécialisation des fabrications auront une influence heureuse sur les prix de revient.

Le premier exercice social de la société, qui ne doit porter que sur une période de neuf mois — 1^{er} avril au 31 décembre 1921 — s'annonce satisfaisant.

Compagnie générale d'Entreprises électriques. — Créée en 1913, aujourd'hui au capital de 3 millions de francs, cette filiale participe aux grands travaux d'électrification qui se poursuivent actuellement en France.

Elle a pris part à l'exécution de la ligne de transmission d'énergie à 120000 v de Laneuveville à Landres, en Lorraine.

Elle s'est vu confier la construction du poste de Landres ⁽¹⁾, poste aérien de coupure et de transformation qui doit fonctionner sous la tension de 120000 v et qui va être le plus important de France.

Elle a déjà exécuté une partie importante des lignes destinées à l'électrification des Chemins de fer du Midi et construit en ce moment, pour le compte de cette société, 150 km de lignes à 150000 v.

Elle vient de terminer la construction d'une des artères principales de la supercentrale que l'Union d'Électricité achève en ce moment à Gennevilliers; cette ligne à 60000 v, qui relie Paris à Creil, vient d'être mise sous tension sans incident.

⁽¹⁾ Voir *R. G. E.*, 23 avril 1921, t. IX, p. 589.

⁽¹⁾ Voir *R. G. E.* du 19 novembre 1921, t. X, p. 717.

Les résultats financiers de la société, dans laquelle la compagnie a comme associée la Société nouvelle de Constructions et de Travaux, sont satisfaisants.

La plupart des entreprises de distribution d'énergie électrique qui occupent dans la Compagnie générale d'Electricité une place prépondérante ont retrouvé dans une marche normale l'état d'équilibre industriel que la guerre leur avait fait perdre.

Toutes les affaires de ce groupe ont marqué des résultats en notable amélioration; toutes ont contribué, directement ou indirectement, à compenser la diminution de rendement des établissements industriels.

Les lourds sacrifices que la compagnie a dû s'imposer lors de la réorganisation financière de plusieurs des filiales de ce groupe ont largement contribué aux résultats favorables constatés aujourd'hui.

Le nombre de kilowatts-heure vendus a atteint 114 289 000; par rapport à l'exercice précédent, la progression atteint cette année 20 pour 100 en nombre rond.

Compagnie d'Electricité de Marseille. — La situation d'attente dans laquelle cette filiale se trouvait l'an dernier, au point de vue municipal, n'a pas encore pris fin; mais les pourparlers sont activement menés en ce moment.

Les résultats de l'exercice clos le 30 juin 1921, en amélioration sensible sur ceux de l'exercice précédent, ont permis la distribution d'un dividende de 8 pour 100, qui se décompose en 5 pour 100 d'intérêts proprement dits et 3 pour 100 à titre de rappel pour ceux des exercices antérieurs qui avaient été improductifs.

Compagnie lorraine d'Electricité ⁽¹⁾. — Les moyens de production dont dispose la société comprennent, à l'heure actuelle, l'usine très moderne de Vincey, d'une puissance de 32 000 kw (elle va s'accroître en 1922 d'une nouvelle unité de 12 000 kw) et l'ancienne usine thermique de Nancy, qui sert d'appoint et de secours.

Le réseau général est relié à l'usine hydroélectrique suisse d'Olten par une des premières lignes à très haute tension exécutées en France. Cette ligne, qui est équipée pour 100 000 v, fonctionne provisoirement sous 65 000 v. Elle part de l'usine génératrice d'Olten, passe par Delle et aboutit près d'Epinal, à Pouxieux ⁽²⁾, où se trouve le poste de raccordement avec le réseau de la Compagnie lorraine. Elle présente une longueur de 186 km, dont 96 en territoire suisse et 90 en territoire français.

Le réseau général est également relié aux réseaux des sociétés voisines : Société vosgienne d'Electricité, Energie électrique de Meuse-et-Marne, Société Energie Eclairage, dans lesquelles la Compagnie lorraine est intéressée.

Signalons, enfin, que l'Etat vient de faire construire, dans la région lorraine, un tronçon du super-réseau dont il a été beaucoup parlé comme devant peu à peu couvrir toute la France. Il s'agit d'une ligne à 120 000 v, d'une longueur de 122 km, qui relie l'usine génératrice de Vincey au poste

de Laneuveville, près de Nancy, et à l'importante région industrielle du bassin de Briey. Cette ligne a été étudiée et construite par les services techniques de la société, avec le concours de la Compagnie générale d'Entreprises électriques.

Le solde disponible 7 223 127,85 fr se répartit : 711 500 fr à la réserve générale, 5 pour 100 à la réserve légale, 5 pour 100 au Conseil.

Sur le solde de 5 876 744,15 fr, auquel s'ajoute le reliquat de l'exercice précédent, il est prélevé un dividende de 60 fr absorbant 6 000 000 fr.

Le report à nouveau est de 1 155 797,25 fr.

Une première partie du dividende est payable par moitié depuis le 27 décembre 1921; la seconde moitié sera payable à partir du 15 juin 1922.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

| Actif. | fr |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Terrains, immeubles, constructions et matériel, concessions et clientèle..... | 53 298 707,90 |
| Cessions ou apports « tubes de Vincey » et « groupe lampes ».. | 32 379 864,65 |
| Travaux neufs de l'exercice..... | 22 918 843,25 |
| Caisse, banquiers et bons du Trésor..... | 6 858 491,15 |
| Effets à recevoir..... | 7 831 940,74 |
| Débiteurs divers..... | 2 611 234,10 |
| Comptes courants des filiales et des participations..... | 23 099 570,32 |
| Produits fabriqués..... | 70 622 171,03 |
| Matières premières, produits en cours de fabrication et approvisionnements divers..... | 9 787 287,29 |
| Titres et participations..... | 25 444 034,55 |
| Apports..... | 103 811 499 » |
| Brevets et licences..... | 1 » |
| Frais de constitution..... | 1 » |
| Prime de remboursement et frais d'émission des obligations..... | 1 » |
| | <u>272 985 075,43</u> |
| Passif. | fr |
| Capital-actions..... | 50 000 000 » |
| Réserve légale..... | 3 508 155,40 |
| — générale..... | 9 606 000 » |
| — supplémentaire..... | 19 850 000 » |
| Fonds spécial..... | 7 000 000 » |
| Obligations 4 pour 100..... | 19 622 500 » |
| Obligations 6 pour 100..... | 55 000 000 » |
| Effets à payer, créiteurs divers, provisions et comptes d'ordre..... | 91 247 706,17 |
| Coupons à payer, obligations à rembourser..... | 5 883 912,11 |
| Comptes courants des filiales et des participations..... | 2 704 590,50 |
| Profits et pertes : | |
| Bénéfices nets de l'exercice 1920-1921..... | 7 223 127,85 |
| Reliquat de l'exercice précédent..... | 1 279 053,10 |
| | <u>272 985 075,43</u> |

(1) Voir *R. G. E.* du 19 novembre 1921, t. x, p. 742.

(2) Voir *R. G. E.*, 1^{er} mai 1920, t. vii, p. 589-599.

SECTION DE LÉGISLATION

Les impôts en vigueur pour 1922

L'auteur examine les divers impôts en vigueur cette année; il en énumère les modalités et indique dans quelles conditions et avant l'expiration de quels délais les diverses déclarations concernant les industriels et commerçants doivent être opérées, observation faite que les délais extrêmes expiront le 31 mars prochain.

I. — Le régime fiscal en vigueur est extrêmement lourd pour les industriels et commerçants; ceux-ci sont astreints à de nombreuses déclarations (au total onze) qu'ils doivent effectuer au début de l'année, avec comme délai ultime, pour les plus tardives, le 31 mars prochain.

Les deux premières déclarations en date visent les salaires, appointements, retraites et rentes viagères; elles devaient être faites avant le 31 janvier. Comme le délai est désormais expiré, nous les laisserons intentionnellement de côté pour ne parler ici que des autres, des neuf autres, et parmi celles-ci nous insisterons sur les deux plus importantes pour les lecteurs de cette revue: la déclaration concernant le chiffre d'affaires et celle concernant l'impôt cédulaire sur les bénéfices industriels et commerciaux.

Les neuf déclarations envisagées sont les suivantes:

1° Déclaration des bénéfices réels de 1921, si le contribuable préfère ce mode de taxation à celui basé sur le chiffre d'affaires; cette déclaration doit être faite par les commerçants et industriels, qu'il s'agisse d'un commerçant particulier ou d'une société, et en tout état avant le 1^{er} avril 1922.

2° Déclaration du chiffre d'affaires et de l'impôt cédulaire des bénéfices des professions industrielles et commerciales; elle doit être faite par les commerçants et industriels, particuliers ou sociétés, dans le cas où, l'option étant permise, on n'a pas déclaré les bénéfices réels. Elle doit être effectuée: 1° avant le 1^{er} avril 1922 si le chiffre d'affaires dépasse 50 000 fr; 2° dans un délai de vingt jours à dater de la réception d'une lettre recommandée envoyée par le contrôleur des contributions directes si le chiffre d'affaires ne dépasse pas 50 000 fr.

3° Déclaration du chiffre d'affaires (taxe spéciale des grands magasins) qui doit être faite par les particuliers ou sociétés dont le chiffre d'affaires a dépassé un million de francs, lorsque l'entreprise a pour objet principal la vente au détail de denrées ou marchandises; elle doit être effectuée dans les trois premiers mois de chaque année.

4° Déclaration de l'impôt général sur le revenu; celle-ci ne doit pas être faite par les collectivités (associations et sociétés), mais doit l'être par toute personne (qu'elle soit ou non commerçante ou indus-

trielle) rentrant dans les conditions légales; à effectuer avant le 1^{er} avril 1922.

5° Réclamation en matière d'impôt sur les bénéfices de l'exploitation agricole; elle doit être faite par ceux dont le bénéfice réalisé est inférieur au forfait légal (moitié de la valeur locative des terres exploitées) et ce dans les trois mois de la publication du rôle.

6° Déclaration des revenus provenant des professions non commerciales et des charges et offices (professions libérales etc...). Elle doit être faite par tous ceux (particuliers, sociétés ou associations) ayant des revenus provenant de cette source, et ce dans les trois mois de chaque année et, en cas de non-déclaration, dans les vingt jours de la demande du contrôleur des contributions directes.

7° Demande en dégrèvement de l'impôt foncier, qui doit être faite dans le cas où le contribuable, particulier, société ou association, est propriétaire d'un immeuble affecté par privilège, antichrèse ou hypothèque à la garantie d'une créance, et ce dans les trois mois de la date du paiement des intérêts.

8° Demande en remboursement de l'impôt sur le revenu des valeurs mobilières qui doit être faite par ceux dont les valeurs mobilières sont constituées en gage ou nantissement de créances, et ce dans les trois mois de la date du paiement des intérêts.

9° Dégrèvement en faveur de certains agriculteurs, qui ne bénéficie qu'aux petits agriculteurs, et doit être demandé avant le 10 février de chaque année.

II. — L'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux (lois des 31 juillet 1917 et 25 juin 1920) est de 8 pour 100. Il est dû par tout particulier ou société exerçant en France une profession industrielle ou commerciale. Il ne porte que sur les bénéfices des entreprises situées en France, à l'exclusion de ceux qui proviennent d'établissements exploités hors du territoire français. Pour chaque contribuable, l'impôt fait l'objet d'une cote unique; établie au siège de la direction de l'entreprise ou de diverses entreprises exploitées par les intéressés si le siège de cette direction est en France et au lieu du principal établissement pour les entreprises dont la direction a son siège hors de France.

La loi a prévu deux modes différents de déterminer

le chiffre des bénéfices qui doit être pris pour base de l'impôt :

1° Déclaration du bénéfice net réel de l'exercice précédent ;

2° Déclaration du chiffre d'affaires.

L'imposition d'après le montant des bénéfices effectivement réalisés est seule applicable en ce qui concerne :

Les sociétés, obligatoirement tenues de communiquer leurs bilans à l'Administration de l'Enregistrement, c'est-à-dire d'une manière générale, les sociétés anonymes et les sociétés en commandite par actions.

Ces sociétés n'ont à produire aucune déclaration spéciale, elles doivent seulement fournir au contrôleur des Contributions directes les renseignements qui leur seront demandés par cet agent en vue de la fixation des bases de leur imposition.

Tous les autres industriels et commerçants peuvent être imposés à leur choix, soit d'après le montant de leurs bénéfices réels, soit d'après l'évaluation de ces bénéfices, faite en prenant pour base leur chiffre d'affaires.

Cette déclaration doit, d'après l'article 4 de la loi du 31 juillet 1917, être adressée au contrôleur des Contributions directes ; elle porte sur le bénéfice net réalisé pendant l'année précédente ou dans la période de douze mois dont les résultats auront servi à l'établissement du dernier bilan, lorsque cette période ne coïncide pas avec l'année civile.

La déclaration est accompagnée du résumé du compte de profits et pertes du même exercice ; ainsi que l'engagement de fournir à l'appui, s'il y a lieu, toutes justifications nécessaires.

Le montant du bénéfice net imposable est établi en déduisant toutes les charges commerciales, y compris la valeur locative des immeubles affectés à l'exploitation et les amortissements généralement admis d'après les usages. Les défalcatons suivantes peuvent être opérées :

En matière d'impôt sur les bénéfices de guerre la déduction des participations accordées aux employés intéressés n'était admise que dans une certaine proportion ; par contre, pour établir le bénéfice net imposable en ce qui concerne l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux, les participations allouées au personnel sont à distraire sans limite et sans exception du bénéfice imposable (art. 20 de l'instruction administrative du 30 mars 1918).

Le bénéfice net doit être également diminué du revenu des valeurs et capitaux mobiliers figurant dans l'actif de l'entreprise et atteints par l'impôt perçu en vertu des lois du 29 mars 1914 et 31 juillet 1917 auquel l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux se superposerait indûment. La déduction est également admise pour les rentes sur l'État. En outre, on peut déduire chaque année, du bénéfice imposable, une somme fixée pour chaque élément d'actif, d'après la durée probable de son utilisation, par exemple : 5 pour 100 au maximum pour les immeubles, 10 pour 100 pour le mobilier industriel ; 15 à 20 pour 100

pour l'outillage ; 15 à 25 pour 100 pour les automobiles, chevaux, etc... De même les brevets d'inventions sont à amortir ; il en est de même des frais de premier établissement ainsi que des créances litigieuses ; de même encore la valeur d'un fonds de commerce dans le cas assez rare d'une dépréciation exceptionnelle.

Certains dégrèvements d'ordre familial peuvent être encore opérés. Ainsi, aux termes d'une réponse du ministre des Finances publiée au « Journal officiel » du 8 avril 1921, page 1541, n° 8 003, « conformément à la jurisprudence du Conseil d'État, les sommes effectivement allouées par un commerçant à sa femme et à sa fille, dans le cas où cette dernière n'est pas une associée, ont le caractère d'un salaire et constituent, par suite, une charge de l'entreprise susceptible d'être admise en déduction pour la détermination du bénéfice net, lorsque (et dans la mesure où) elles correspondent à un travail réellement fourni par les bénéficiaires. »

Par contre, certains dégrèvements sont interdits : les réserves, sous quelque dénomination qu'elles soient présentées, n'en constituent pas moins des bénéfices réalisés au cours de l'exercice et doivent rester incorporés dans le bénéfice imposable. Il en est ainsi, même pour la réserve légale des sociétés anonymes. Il en est de même encore pour les appointements que prélève l'exploitant à titre de salaire de son travail personnel. En matière fiscale la déduction n'est pas admise, qu'il s'agisse d'un exploitant particulier, de membres d'une société en nom collectif ou du gérant d'une société en commandite simple ou par actions.

Les intérêts des capitaux que l'exploitant a personnellement engagés dans l'entreprise doivent également supporter l'impôt ; il en est de même des dépenses de ménage de l'exploitant. Enfin le remboursement des obligations doit être compris dans le bénéfice imposable. En effet, il ne s'agit que de la restitution à des tiers des sommes qui leur appartiennent et qui n'éprouvent de ce chef ni une perte, ni un gain ; Il en est encore de même pour les actions ou parts de fondateurs.

Si le contribuable veut être taxé d'après son chiffre d'affaires, il n'a qu'à indiquer au contrôleur des Contributions directes par lettre recommandée, avant le 1^{er} avril, son chiffre brut d'affaires, c'est-à-dire le montant total de ses affaires du dernier exercice. Le contrôleur appliquera à ce chiffre un coefficient (*Journal officiel* du 13 mars 1920). Le résultat ainsi obtenu représente le bénéfice net imposable.

Si le chiffre d'affaires ne dépasse pas 50 000 fr les redevables ne sont pas obligés de le déclarer, mais ils doivent l'indiquer au contrôleur dans les vingt jours de sa demande.

L'impôt est calculé de la manière suivante :

La fraction du bénéfice imposable n'excédant pas 1 500 fr est comptée pour un quart ; la fraction comprise entre 1 500 et 5 000 fr, pour moitié ; le surplus, pour la totalité.

Les sommes ainsi obtenues sont totalisées et au résultat de cette addition est appliqué le taux de 8 pour 100.

Les charges de famille varient suivant l'importance du revenu global imposable; elles sont calculées d'après le montant des revenus du contribuable, y compris le montant de ses bénéfices commerciaux ou industriels.

Si l'ensemble des revenus est inférieur à 10 000 fr après avoir tenu compte des diverses déductions, 3 000 fr pour l'épouse et 2 000 fr ou 1 500 fr par enfant, le taux de la déduction sur les impôts cédulaires est de : 7,50 pour 100 pour les deux premières personnes à charge et de 15 pour 100 pour les autres sans limitation. Si le revenu global est supérieur à 10 000 fr après les déductions indiquées plus haut, le taux de la déduction est de : 5 pour 100 pour chacune des trois premières personnes à charge ou ascendants ; 10 pour 100 pour chacune des autres à partir de la quatrième.

En aucun cas, la déduction pour chaque impôt cédulaire ne peut dépasser 300 fr par personne à charge.

Pour le calcul de l'impôt sur les bénéfices industriels ou commerciaux, il n'est accordé aucune déduction pour la femme.

Tout contribuable a droit sur son revenu annuel à une déduction de 1 500 fr par personne à sa charge, si le nombre des personnes à sa charge ne dépasse pas cinq.

Toutefois, pour chaque enfant au-dessous de vingt et un ans, resté à la charge de ses parents, et pour chaque personne au delà de la cinquième, quel que soit son âge, la déduction sera portée à 2 000 fr.

Sont considérés comme personnes à la charge du contribuable, à la condition de n'avoir pas de revenus distincts de ceux qui servent de base à l'imposition de ce dernier :

1° Les ascendants âgés de plus de soixante-dix ans ou infirmes ; toutefois cet âge est abaissé à soixante ans à l'égard des femmes veuves vivant sous le même toit que leur fils ou leur fille et à leur charge exclusive.

Si le contribuable est en société, soit en commandite simple ou par actions, soit en nom collectif, le fisc ne lui accorde aucune déduction pour charge de famille, le débiteur de l'impôt étant non plus le particulier, mais la société dont il fait partie.

Les agents du fisc ont les pouvoirs les plus étendus en matière de vérification des déclarations. L'article 32 de la loi du 31 juillet 1920 leur octroie de larges pouvoirs : « Art. 32. — Pour permettre le contrôle des déclarations d'impôt et la recherche des omissions ou des fraudes qui auraient pu être commises dans le délai de la prescription, tout commerçant faisant un chiffre d'affaires supérieur à 50 000 fr par an est tenu de présenter à toute réquisition des agents du Trésor ayant au moins le grade de contrôleur ou d'inspecteur-adjoint, les livres dont la tenue est prescrite par le titre II du Code de Commerce ainsi que tous les livres et documents annexes, pièces de recettes et de dépenses, etc... »

Les agents du fisc ont donc le droit de contrôler le

bénéfice net du contribuable, qui a opté pour ce mode de déclaration ; mais lorsqu'il s'agit d'un contribuable qui a choisi la déclaration du chiffre d'affaires, le droit d'inquisition du contrôleur n'est pas limité à la consultation des documents nécessaires à la détermination de cet élément comme cela avait lieu jusqu'au 31 juillet 1920 ; il peut étendre son examen à toutes les parties de la comptabilité et y relever les données susceptibles de servir à la fixation du bénéfice imposable.

Si le commerçant refuse de communiquer non seulement son livre journal, son livre d'inventaire et son copie de lettres, mais encore tous ses livres annexes y compris ses pièces de recettes et de dépenses, il encourt une amende de 1 000 à 10 000 fr en principal.

III. — En résumé, les industriels et commerçants ont à effectuer dans les délais ci-dessus spécifiés cinq déclarations :

1° Déclaration concernant les salaires et rétributions (cette déclaration devait être effectuée au plus tard le 31 janvier) ;

2° Déclaration des bénéfices réels de l'année précédente dans le cas où le contribuable préfère ce mode de taxation à celui de l'application au chiffre d'affaires des coefficients prévus (avant le 1^{er} avril de chaque année) ;

3° Déclaration par les commerçants et industriels du montant de leur chiffre d'affaires pendant l'année précédente (déclaration, aujourd'hui obligatoire, pour les contribuables dont le chiffre d'affaires dépasse annuellement 50 000 fr, à faire dans les trois premiers mois de chaque année) ;

4° Déclaration de l'impôt général sur le revenu (à faire avant le 1^{er} avril) ;

5° Déclaration du chiffre d'affaires pour la détermination de la taxe spéciale pour le chiffre d'affaires réalisé par les entreprises ayant pour objet principal la vente en détail de denrées ou marchandises lorsque ce chiffre d'affaires dépasse un million de francs. Cette déclaration est à faire dans les trois premiers mois de chaque année et porte sur le chiffre total des affaires pendant l'année précédente.

Telles sont les déclarations à effectuer par le contribuable français, avant certaines dates, sous peine d'amendes diverses ou impositions d'office.

La loi de finances du 31 décembre 1921 (*Journal officiel*, du 1^{er} janvier 1922) a ajouté aux impôts antérieurs certaines dispositions concernant notamment le paiement des impôts arriérés, le règlement des droits de successions des régions libérées ; elle a augmenté la taxe sur les vélocipèdes (5 fr pour les bicyclettes et 20 fr pour les machines actionnées par un moteur) exception faite pour ceux possédés par des mutilés de guerre.

D'autre part, elle admet le régime du forfait pour la taxe sur le chiffre d'affaires. En effet, l'article 28 « dispense, sur leur demande, des obligations relatives aux déclarations mensuelles du chiffre d'affaires, les rede-

vables, dont le chiffre d'affaires n'a pas excédé, pendant l'année précédente, 120 000 fr, s'il s'agit de redevables dont le commerce principal est de vendre des marchandises, denrées, fournitures ou objets à emporter ou à consommer sur place et de fournir le logement, ou 30 000 fr s'il s'agit d'autres redevables.

» Le paiement sera fait par quart, tous les trois mois.

» Cette faculté pourra être retirée par l'administration aux redevables ayant commis des contraventions à la présente loi. »

Comme on le voit, notre régime fiscal devient compliqué, écrasant et inquisitorial. Il est malheureusement à craindre qu'il ne puisse être atténué avant longtemps. Pourvu qu'il ne soit pas aggravé ! Et si les Allemands ne paient pas, c'est une éventualité qu'il faut malheureusement envisager.

FERNAND-JACQ,

Docteur en droit, Avocat à la Cour de Paris, Examinateur suppléant de législation fiscale à l'Ecole des Hautes Etudes commerciales.

Législation, jurisprudence, réglementation

Arrêt de la Cour d'Appel de Paris concernant le paiement des chèques.

Cet arrêt de la Cour d'Appel de Paris (3^e chambre), en date du 8 décembre 1921 et confirmant un jugement du Tribunal de Commerce de la Seine du 8 janvier 1920, décide que le paiement d'un chèque non acquitté est irrégulier et par suite ne libère point celui qui l'a effectué. Il s'agit là, en effet, d'une formalité substantielle expressément imposée par la loi et celui qui passe outre, qui n'en exige pas l'accomplissement, commet une faute lourde engageant sa responsabilité civile et fiscale.

Voici les motifs de cet arrêt :

Considérant qu'aux termes de l'article 5 de la loi du 14 juin 1865, complétée par la loi du 19 février 1874, le chèque, même au porteur, est acquitté par celui qui le touche et que l'acquit est daté ; que cette prescription a le caractère d'une formalité substantielle, sans laquelle le paiement du chèque ne peut être considéré ni comme régulier ni comme libératoire, et que celui qui en règle le montant sans exiger l'acquit du porteur commet une faute engageant sa responsabilité non seulement civile, mais encore fiscale, puisque la loi déclare dans son article 7 qu'il est passible personnellement et sans recours d'une amende de 50 fr ;

Considérant, dès lors, que la société appelante, en acceptant de remettre le montant des trois chèques litigieux soit 12 000 fr, au porteur, sans exiger que l'endossement en blanc, autorisé par le paragraphe 5 de l'article premier de la loi précitée fût suivi d'un acquit, a commis une faute lourde qui la rend non recevable à invoquer contre le porteur des duplicata le paiement qu'elle aurait antérieurement opéré des chèques originaux et qu'elle doit, en conséquence, être condamnée à en verser la valeur.

Jugement du Tribunal civil de la Seine concernant la rupture brusque du contrat par l'employeur.

Généralement le contrat de travail est conclu sans limitation de temps, pour une durée indéterminée. Il peut durer aussi longtemps qu'il plaira aux parties contractantes, mais également il peut prendre fin à tout moment par la simple volonté de l'une d'elles (art. 1780, § 2, du Code civil ; art. 23, § 1^{er} du livre 1^{er} du Code du Travail).

Mais, de l'application rigoureuse de ce principe, il pouvait

résulter pour celui des deux contractants qui subissait la rupture un préjudice grave. C'est pourquoi il est admis de façon à peu près constante que, dans tout contrat de travail d'une durée indéterminée, est stipulé un délai-congé, c'est-à-dire un certain temps qui devra s'écouler entre la rupture signifiée et la rupture effective. Ce délai, d'ailleurs, le plus souvent, n'est point expressément fixe dans le contrat : les parties sont censées avoir accepté tacitement de se conformer aux usages locaux. Si, dans ces conditions, le patron ou l'ouvrier cesse brusquement d'exécuter son engagement, il cause à son co-contractant un dommage dont il lui doit réparation.

Toutefois, lorsque l'une des parties commet une faute grave dans l'accomplissement de ses obligations, l'autre peut résilier immédiatement le contrat sans observer le délai de préavis. C'est l'application de ce principe que fait le jugement du Tribunal civil de la Seine (7^e Chambre) rendu sur appel d'un jugement du Conseil des Prud'hommes de la Seine (section des métaux et industries diverses) le 6 juillet 1921.

Voici les attendus de ce jugement, en date du 3 novembre 1921 du Tribunal civil de la Seine.

Attendu que, par lettre du 13 juin 1921, la société appelante a fait savoir à ses ouvriers qu'à partir du 30 juin elle serait obligée de diminuer leurs salaires et les a prévenus qu'elle devrait se priver du concours de ceux qui ne voudraient pas accepter ladite diminution ;

Attendu qu'en manière de protestation contre cette décision, le Syndicat de la Voiture et de l'Aviation qui, le 21 juin, avait écrit à la société appelante pour lui demander une entrevue a, le 24 juin, fait afficher dans les ateliers de celle-ci un avis invitant les ouvriers à cesser le travail pendant 10 minutes, le jour même, de 14 h 30 à 14 h 40 ;

Attendu que la société appelante a averti son personnel que tout ouvrier qui suivrait ledit avis serait immédiatement congédié ;

Attendu que sur 300 ouvriers cinq seulement, dont Alleyz, ont cessé le travail, qu'il a été renvoyé sans délai ni préavis ;

Attendu que le fait par Alleyz d'avoir cessé le travail dans les conditions ci-dessus énoncées, après avoir été averti qu'il ne ferait plus partie du personnel, constitue une faute contre l'ordre et la discipline qu'un patron est en droit d'exiger dans ses ateliers et qui justifie contre ceux qui l'ont commise un renvoi immédiat sans délai, ni préavis, ce qui est donc à bon droit que la société appelante a congédié Alleyz sans le préavis d'usage dans la profession des parties.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 8.

25 FÉVRIER 1922.

Chronique. — Association amicale des Ingénieurs électriciens. — Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. — Les Conférences-rapports sur la physique, p. 257-258.

Section scientifique et technique. — Sur la nature des grandeurs et le choix d'un système d'unités électriques, par P. LANGEVIN, p. 259. — Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? par A. ILIOVICI, p. 264. — Revues, analyses et informations : Sur l'identité de nature du champ magnétique et de l'induction magnétique, p. 268; Action de la chaleur et de la lumière sur la conductibilité de certains sulfures, p. 269; Démonstration des discontinuités de l'aimantation par les amplificateurs et les téléphones, p. 270; La valve thermo-ionique comme génératrice d'oscillations entretenues modulées, p. 270; Détermination des grandeurs caractéristiques des circuits parcourus par des courants alternatifs à l'aide d'une méthode semi-analytique, semi-géométrique, p. 272.

Section industrielle. — Contribution à l'étude de la répartition de la tension sur les chaînes d'isolateurs; dispositif pour l'amélioration de cette répartition, par G. VIEL, p. 273. — Le coffret de manœuvre, appareil industriel, par J.-Paul GUY, p. 278. — Revues, analyses et informations : Essai d'un moteur synchrone, démarrant en asynchrone et à fort couple de démarrage, p. 282; La commutation dans les machines à courant continu, p. 286.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Maison Bréguet, p. 287; Compagnie des Eaux et d'Électricité de l'Indo-Chine, p. 288; Société d'Applications industrielles (Compagnie d'Entreprises électriques), p. 289.

Section de législation. — Le Conseil d'État et l'impôt sur les bénéfices de guerre, aperçu d'ensemble sur les décisions rendues, par Paul BOUGAULT, p. 291. — Législation, jurisprudence, réglementation : Arrêt de la Cour d'Appel de Paris concernant le règlement transactionnel, p. 295; Sur l'application de la contribution sur les bénéfices de guerre, p. 296; Sur l'application de la taxe sur le chiffre d'affaires, p. 296; Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux aux représentants de commerce, p. 296.

Association amicale des Ingénieurs électriciens : Assemblée générale du 24 janvier 1922. — L'assemblée générale annuelle de cette association a eu lieu le mardi 24 janvier 1922, sous la présidence de M. R. Legouez.

Dans son rapport, le secrétaire général, M. Guillaume, a fait ressortir l'accroissement important qu'a subi au cours de l'année le « fonds de secours » créé, dès 1914, par le regretté président de l'Association, Eugène Sartiaux.

« Ce fonds, dit le secrétaire général, s'est accru considérablement cette année grâce à des dons importants que nous avons portés en leur temps à votre connaissance et dont notre trésorier vous donnera le détail tout à l'heure. Nos remerciements chaleureux vont aux groupements dont la générosité s'est exercée d'une façon si large et qui sont venus ainsi encourager et seconder nos efforts.

» Grâce aux ressources à notre disposition, nous avons déjà pu faire œuvre utile, puisque nous y avons prélevé en faveur de la Caisse de Crédit d'Études des Elèves de l'École supérieure d'Électricité, et des Elèves de l'École d'Enseignement technique féminin des sommes qui permettront à des jeunes gens tombés dans le besoin de continuer leurs études. Nous avons également constitué une bourse, dans un lycée, à la fille d'un de nos camarades mort pour la France.

» Mais cela n'est qu'un commencement et notre Bureau se propose de continuer dans la voie ainsi tracée : il veut faire plus et mieux et, pour cela, il compte que votre précieuse collaboration ne lui fera jamais défaut.

» S'il est un moyen d'exercer utilement cette collaboration, c'est certainement de faire, autour de vous, dans le cercle de vos relations professionnelles, une active propa-

gande en faveur de notre groupement, de faire connaître le noble but qu'il se propose et de nous amener des adhérents nombreux.

» C'est par le nombre de nos membres, par leur présence fréquente à nos réunions que nous pourrions le plus efficacement remplir notre programme d'assistance et réaliser notre aspiration de devenir un organisme vivant et bienfaisant. »

Le rapport du trésorier, M. Lainnet, montre d'ailleurs que, par sa situation financière, l'Association est en mesure de pouvoir accomplir la tâche de solidarité en vue de laquelle elle a été créée.

« Notre actif, dit-il, se solde par 83 200 fr (les valeurs mobilières étant évaluées aux cours du 1^{er} janvier 1922), contre 63 610 fr l'an dernier. Cette augmentation provient, en grande partie, de la ristourne que notre président a pu obtenir sur le reliquat des expositions ainsi que de celle que notre vice-président M. Zetter nous a fait verser sur le reliquat de la Foire de Paris 1921; à ces sommes, il faut ajouter le produit de la vente des billets de tombola. Cette augmentation nous a permis de donner suite au vœu que vous aviez émis de subvenir à des œuvres d'assistance et nous avons, cette année, pu donner, sans nous gêner, 7 750 fr comme dons, subventions et prêts d'honneur. »

Après la lecture de ces rapports, il a été procédé à l'élection du Bureau de l'Association. Ont été nommés, à l'unanimité :

Président : M. R. Legouez;

Vice-présidents : MM. Zetter, Schwarberg, Mazon.

Secrétaire général : M. Guillaume.
 Secrétaire général adjoint : M. de Traz.
 Membres du bureau : MM. Augé, Cornuault, Gindre,
 Leroy, Nelson-Uhry, Sidot.
 Trésorier : M. Lainnet.

A l'unanimité, la cotisation pour l'année 1922 a été fixée à 20 fr, et le droit d'admission maintenu à 20 fr.

Signalons que, dans la séance ordinaire qui a précédé l'assemblée générale, il a été statué sur l'admission de deux ingénieurs électriciens du sexe féminin : M^{lle} Raudin, ancienne élève de l'Institut technique féminin, ingénieur à la Compagnie technique des Sociétés d'Énergie électrique et M^{lle} Sacerdote, ancienne élève de l'École supérieure d'Électricité. La première, présentée à la précédente séance, a été admise à l'unanimité comme membre titulaire ; la seconde, dont la présentation avait lieu à la séance du 24 janvier, a été admise, également à l'unanimité, à la réunion du 21 février.

Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale : Séance du 28 janvier 1922. — Deux communications ont été faites à cette séance. L'une, due au lieutenant-colonel Paul RENARD a pour titre : *Les tendances actuelles de l'aéronautique d'après le Salon de 1921*. L'autre avait pour objet la présentation, par M. POUCHOLLES, professeur à l'École nationale des Arts et Métiers de Paris, de *L'enregistreur Gueugnon*.

L'enregistreur Gueugnon a été décrit dans ces colonnes, il y aura bientôt quatre ans (*R. G. E.*, 16 mars 1918, t. III, p. 387-395), dans un article de M. Poucholles, intitulé : « Contribution à l'étude expérimentale des mouvements périodiques ; application à la théorie élémentaire des courants alternatifs. »

Nos lecteurs connaissent le principe de cet appareil : une feuille de papier se déplace verticalement et ce mouvement vertical peut suivre plusieurs lois déterminées ; en face de cette feuille se déplace un stylet dont le mouvement peut suivre aussi plusieurs lois déterminées. Il permet de représenter graphiquement un grand nombre de phénomènes, soit en coordonnées cartésiennes, soit en coordonnées polaires.

On peut notamment étudier avec cet appareil et les représenter graphiquement : le mouvement de chute des corps, le mouvement périodique, le mouvement circulaire, etc. ; on peut additionner des fonctions sinusoïdales de même période, décalées ou non, ou de périodes différentes ; on peut étudier les harmoniques, l'effet de leur superposition, les battements ; tracer un limaçon de Pascal, la spirale d'Archimède, une développante de cercle, toutes les figures de Lissajous, des dessins décoratifs.

L'appareil peut enregistrer des phénomènes physiques ou chimiques et les mesurer avec une précision très grande. C'est ainsi qu'il a permis de préciser certaines notions récentes sur la trempe, de fixer exactement le point de recalescence, les points de transformation et d'éclairer les conditions dans lesquelles se produisent les « tapures ». L'enregistreur Gueugnon peut donc recevoir des applications industrielles.

L'appareil présenté à la Société d'Encouragement diffère de l'appareil primitif de 1918 par divers perfectionnements apportés tant par l'inventeur, M. Gueugnon, que par le constructeur, M. Boyelle-Morin.

La facilité avec laquelle il permet de rendre en quelque

sorte tangibles certains phénomènes difficiles à comprendre sans préparation mathématique et même de les mieux faire comprendre à ceux qui ont subi cette préparation, l'a déjà fait adopter dans une cinquantaine d'écoles techniques ou professionnelles, dans plusieurs universités françaises et étrangères ainsi qu'à l'École normale supérieure.

Les Conférences-rapports sur la physique : Séance du 31 janvier 1922. — Après avoir rappelé, dans sa première conférence, les lois classiques du rayonnement isotherme, M. Léon Brillouin a donné un rappel général des hypothèses de quanta. Depuis les remarquables travaux de Bohr, on sait que la structure de l'atome est très intimement liée aux idées de quanta. On se représente l'atome comme formé d'un noyau central, portant presque toute la masse et pourvu d'une charge électrique positive $+Ne$; N étant le rang de l'atome dans le tableau périodique de Mendéléjeff, et e , la charge électrique élémentaire. Autour de ce noyau gravitent N électrons, portant chacun la charge $-e$. Ces électrons sont répartis en couches ou atmosphères successives, que l'on note K, L, M, \dots et que nous révèle l'étude spectroscopique des rayons X.

On a donc pour l'hydrogène, un seul électron, 2 pour l'hélium, ... et 92 pour l'uranium, dernier terme de notre suite d'éléments.

Tout l'énorme matériel des mesures spectroscopiques (infra-rouges, visibles, ultra-violet, rayons X) s'ordonne grâce au second postulat de Bohr : quand l'atome passe d'un état d'énergie w_1 à un second état d'énergie w_2 , la radiation émise a une fréquence ν

$$h\nu = w_1 - w_2.$$

De l'observation des fréquences ν , on remonte donc aux valeurs w des niveaux d'énergie,

La concordance de ces valeurs d'énergie avec celles que donnent les potentiels d'ionisation ou de résonance est un des meilleurs arguments en faveur de cette conception.

Pour prévoir a priori les niveaux d'énergie, c'est au premier postulat de Bohr, généralisé par Sommerfeld, que l'on s'adresse : on est amené à prévoir que certaines des orbites, que parcourent les électrons autour du noyau central, peuvent posséder une certaine stabilité et persister sans rayonnement. Ces orbites sont données par une règle très générale faisant intervenir le quantum h et constituent les différentes configurations de notre atome. Les énergies w qui correspondent à ces orbites se calculent et l'on peut prévoir ainsi a priori un grand nombre de spectres :

Spectre de l'hydrogène, — effet Zeemann et effet Stark, — spectres infra-rouges de rotation et spectres de rayons X.

En face de ces succès remarquables, il semble tentant d'abandonner la vieille physique et de ne plus penser que par « quanta ».

La « vieille » physique a pourtant encore la vie dure ; elle s'est fondée sur l'expérience, et interprète un grand nombre de faits (interférences, diffusion, diffraction, dispersion, etc.) que les quanta sont actuellement hors d'état de nous expliquer. Il faudra donc chercher un compromis, élargir nos conceptions étroites de quanta, pour leur permettre de se relier aux idées anciennes ; ceci est encore à faire, et l'on peut seulement noter deux tentatives partielles fort heureuses : le principe de sélection de Sommerfeld et le principe de correspondance de Bohr. L'importance des résultats que ces deux principes permettent de retrouver montre que la voie qu'ils suivent est pleine de promesses.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Sur la nature des grandeurs et le choix d'un système d'unités électriques

Dans cette communication faite à la séance du 20 janvier 1922 de la Société française de Physique, l'auteur montre comment doivent être définies les grandeurs champ et induction électriques et magnétiques dans un système de coordonnées quelconques pour conserver aux équations de Maxwell leur caractère tout à fait remarquable d'invariance absolue sous la forme simple habituelle. Il déduit du fait que les composantes des grandeurs champ et induction se transforment de manières différentes quand on change le système d'unités et le système de coordonnées la nécessité de considérer ces grandeurs comme étant de natures différentes, sans préjudice des simplifications éventuelles qu'on peut obtenir par un choix particulier des unités ou des coordonnées.

Chacune des grandeurs qu'introduit la physique, exige pour sa détermination complète, la connaissance d'un certain nombre de composantes (une seule pour les scalaires, trois pour les vecteurs, neuf en général pour les tenseurs d'espace du second ordre, etc.), et de la manière dont ces composantes se transforment quand on change le système de coordonnées ou le système de référence auquel les phénomènes sont rapportés.

Les lois de la physique s'expriment par des relations entre diverses grandeurs susceptibles de varier simultanément dans un même phénomène, et le caractère intrinsèque ou absolu de ces lois résulte du fait que leur forme générale est indépendante du système de coordonnées ou de référence employé.

Deux grandeurs ne peuvent être dites de même nature que si leur égalité éventuelle, c'est-à-dire l'égalité de leurs composantes correspondantes, a un sens intrinsèque, indépendant du système de coordonnées, c'est-à-dire si leurs composantes se transforment de la même manière dans un changement quelconque du système de coordonnées. Il en est ainsi, par exemple, pour les diverses forces, quelle que soit leur origine, électrique, élastique, etc.; on a le droit de dire que toutes les forces sont des grandeurs de même nature.

Les valeurs numériques ou mesures des grandeurs ou de leurs composantes sont déterminées par le choix d'un système d'unités. Les lois s'expriment alors par des équations entre les mesures, et ces équations peuvent être simplifiées grâce à des relations imposées entre les diverses unités pour faire disparaître des coefficients numériques, ou par le choix d'unités naturelles telles que le radian pour la mesure des angles.

Il est indispensable pour la technique, et tout à fait légitime, de pousser aussi loin que possible ce genre de simplification. On peut, dans ce sens, faire plus et mieux qu'il n'a été généralement ou officiellement admis jusqu'ici.

On peut, en outre, simplifier dans chaque cas particulier la forme générale ou intrinsèque des équations de la physique par un choix approprié du système de coordonnées (axes rectangulaires dans les milieux isotropes ou symétrie cristalline élevée, axes obliques dans les milieux dyssymétriques, coordonnées curvilignes appropriées à la forme des conducteurs en électrostatique ou des obstacles en hydrodynamique, axes liés à des corps en mouvement ou axes liés à des corps en chute libre pour supprimer localement le champ de gravitation, etc.).

Il peut résulter de semblables simplifications, en physique comme en géométrie, des égalités accidentelles et factices entre les mesures de diverses grandeurs sans qu'on puisse conclure à l'identité de nature de celles-ci. En géométrie, la surface d'un rectangle peut être mesurée par le même nombre que la longueur de sa base lorsque la longueur de sa hauteur a été prise pour unité sans qu'il en résulte l'identité de nature de la surface et de la longueur, ni l'égalité des unités qui servent à les mesurer. De même en physique, l'induction magnétique a les mêmes composantes que le champ magnétique dans le vide lorsqu'on a pris égale à l'unité la perméabilité magnétique du vide, considérée, soit comme grandeur, soit comme coefficient numérique, et que, de plus, on utilise des axes rectangulaires liés à un système matériel en chute libre de manière à mesurer au moyen d'un seul nombre l'ensemble des neuf composantes du tenseur du second ordre qu'est en réalité la perméabilité magnétique dans le cas général. La relation entre l'induction et le champ est en réalité une relation vectorielle linéaire dont les neuf coefficients mesurent les composantes du tenseur de perméabilité. L'égalité fortuite entre les composantes du champ et celles de l'induction disparaît dès qu'on modifie les conditions très particulières qui l'ont provoquée. On ne saurait donc en conclure à l'identité

de nature des grandeurs ni, par conséquent, à celle des unités qui servent à les mesurer.

Autant il est légitime, pour les buts pratiques, de simplifier les équations par un choix convenable des unités et du système de référence, autant il est nécessaire de remonter au cas général lorsque des questions de principe sont posées.

L'application des considérations précédentes au cas des grandeurs électriques et magnétiques exige qu'on commence par donner de celles-ci des définitions générales valables dans un système de coordonnées quelconque. On y parvient de la manière la plus simple en suivant une voie qui met en évidence le parallélisme profond signalé par Minkowski entre le champ électrique et l'induction magnétique, d'une part, entre le déplacement ou induction électrique et le champ magnétique, d'autre part. On y trouve également l'avantage que les grandeurs magnétiques sont définies à partir des lois qui régissent le mouvement des particules électrisées ou les courants, au lieu de s'introduire par l'intermédiaire des aimants. L'étude de ceux-ci se trouve reportée à la fin de l'électromagnétisme dont elle constitue le cas le plus complexe, de même que les actions mutuelles entre diélectriques polarisés ne peuvent être étudiées utilement qu'à la fin de l'électrostatique. La particule électrisée en mouvement joue ainsi en électromagnétisme un rôle fondamental équivalent à celui du corps électrisé immobile en électrostatique.

Un système de coordonnées *quelconque* étant choisi, il passe en tout point A trois surfaces coordonnées (yz , zx , xy) se coupant deux à deux suivant trois lignes coordonnées (x , y , z). La charge électrique e d'un corps d'épreuve placé en A et

l'intensité du *champ électrique* \vec{h} en ce point se définissent par la condition que le travail dT de l'action subie par le corps d'épreuve *sans vitesse* le long d'un déplacement virtuel $d\vec{l}$ s'exprime par

$$dT = \alpha e h_x d\vec{l},$$

h_x étant la *composante* de \vec{h} dans la direction du déplacement $d\vec{l}$, et α un coefficient numérique dont la valeur dépend du choix des unités. Aux directions coordonnées correspondent les trois composantes h_x , h_y , h_z .

L'*induction magnétique* \vec{B} au point A se définit par l'action que subit un élément de courant placé en A ou une particule électrisée en mouvement passant par ce point. La composante $B_x = B_{yz} = -\vec{B}_{yz}$ est définie par la condition que

$$dT = \alpha' i B_x dy dz = \alpha' i d\Phi$$

soit le travail effectué par l'action que subit un élément de courant d'intensité i de longueur dz le long d'un déplacement dy . Le coefficient numérique α' dépend du choix des unités. La quantité $d\Phi = B_x dy dz$ est le flux d'induction à travers l'élément de surface parallélogramme $dy dz$.

Le fait expérimental que l'intensité d'un courant est proportionnelle à la quantité d'électricité qu'il transporte se traduit par la relation

$$i = \frac{1}{\lambda} \frac{dq}{dt}$$

ou

$$\vec{s} = \frac{1}{\lambda} \sum e \vec{v},$$

\vec{s} étant le vecteur courant et la somme qui figure dans le second membre étant étendue à toutes les particules

électrisées *libres*, de charge e et de vitesse \vec{v} présentes dans l'unité de volume au voisinage du point considéré. Comme le désire M. Abraham, λ est un coefficient numérique dont la valeur dépend du choix des unités.

La conservation du flux d'induction magnétique et la loi des courants induits conduisent à écrire entre \vec{h} et \vec{B} les équations de Maxwell sous la forme :

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial h_z}{\partial y} - \frac{\partial h_y}{\partial z} + \frac{\alpha'}{\lambda \alpha} \frac{\partial B_x}{\partial t} = 0.$$

Les grandeurs induction électrique et champ magnétique se définiront de la manière suivante dans un système de coordonnées quelconque.

La première est définie par la méthode du plan d'épreuve. Une petite lame métallique mince isolée placée au point A dans la direction du plan tangent à la surface coordonnée yz prend par influence des densités d'électricité égales et opposées sur ses deux faces. Si de est la charge présente du côté des x positifs dans le parallélogramme infiniment petit $dy dz$, la composante b_x de l'induction électrique est définie comme proportionnelle à cette charge par la relation :

$$\beta de = b_x dy dz,$$

β étant un coefficient numérique dépendant du choix des unités.

Le champ magnétique se définit de la même manière à partir de la nappe de courant superficielle nécessaire sur un fil conducteur infiniment délié placé en A pour protéger l'intérieur du fil contre toute action magnétique. Si le fil est orienté suivant l'axe des x , l'intensité di du courant superficiel (qui se produira spontanément si le fil est superconducteur) par élément de longueur dx définit la composante H_x du champ magnétique par la relation :

$$\beta' di = -H_x dx;$$

β' est un autre coefficient numérique.

Les équations de Maxwell, du théorème de Gauss et du théorème d'Ampère s'écrivent à partir de ces défini-

tions dans un système de coordonnées quelconque :

$$\frac{\partial b_x}{\partial x} + \frac{\partial b_y}{\partial y} + \frac{\partial b_z}{\partial z} = \beta \rho,$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} - \frac{\beta'}{\lambda \beta} \frac{\partial b_x}{\partial t} = \beta' S_x, \quad \text{etc.}$$

$\rho \, dx \, dy \, dz$ étant la charge vraie contenue dans la maille parallélépipédique $dx \, dy \, dz$ et S_x étant la composante suivant x du vecteur courant \vec{S} .

Il faut joindre aux équations de Maxwell, dont la forme simple est *absolument invariante*, quel que soit le milieu vide ou matériel, isotrope ou non, en repos ou en mouvement par rapport à un système de coordonnées quelconque, en présence ou non d'un champ de gravitation, des relations complémentaires dont la forme est très complexe dans le cas général.

Il faut déjà que le milieu matériel soit immobile et sans polarisation permanente pour que l'induction élec-

trique \vec{b} soit liée au champ électrique \vec{h} par une relation vectorielle linéaire à neuf coefficients, qui exige l'absence de champ de gravitation, l'isotropie du milieu et l'emploi d'axes rectangulaires pour prendre la forme simple :

$$\vec{b} = K \vec{h},$$

où K est une *grandeur*, le pouvoir inducteur spécifique du milieu, puisqu'elle est susceptible de variation continue avec la nature de ce milieu. Sa valeur K_0 dans le vide dépend du choix des unités.

Les mêmes conditions très particulières sont nécessaires pour que l'induction et le champ magnétique aient entre eux la relation simple

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad \text{ou} \quad \vec{B} = \mu_0 \vec{H},$$

suivant qu'il s'agit d'un milieu matériel isotrope non ferro-magnétique ou du vide. La *grandeur* perméabilité magnétique est susceptible aussi de variation continue.

Dans ces mêmes conditions, l'ensemble des relations précédentes conduit à prévoir, dans un milieu homogène et isotrope, une vitesse définie de propagation d'ondes électromagnétiques.

$$V = \sqrt{\frac{\alpha \beta \lambda^2}{K \mu \alpha' \beta'}},$$

et dans le vide

$$c = \sqrt{\frac{\alpha \beta \lambda^2}{K_0 \mu_0 \alpha' \beta'}}.$$

Un corps électrisé de charge e en mouvement dans le milieu homogène avec une vitesse v petite par rap-

port à c produit autour de lui un champ électrique et un champ magnétique donnés par :

$$h = \frac{\beta}{4\pi K} \frac{e}{r^2}, \quad H = \frac{\beta'}{4\pi \lambda} \frac{ev \sin \theta}{r^2}.$$

La composition des champs magnétiques produits par la convection des particules électrisées intérieures à un conducteur conduit à la loi de Laplace pour le courant de conduction correspondant :

$$dH = \frac{\beta'}{4\pi} \frac{i \, dl \sin \theta}{r^2}.$$

Les lois de Coulomb en électrostatique et d'Ampère en électrodynamique prennent, dans ces mêmes conditions, la forme :

$$f = \frac{\alpha \beta}{4\pi K} \frac{ee'}{r^2}, \quad dI = \mu \frac{\alpha' \beta'}{4\pi} \frac{ii' \, dl \, dl'}{r^2}.$$

Les équations complémentaires applicables aux corps en mouvement peuvent s'obtenir, comme l'a montré Minkowski, par application du principe de relativité à partir des équations connues pour la matière en repos. La théorie de Lorentz aboutit aux mêmes résultats par une voie moins formelle, mais plus difficile, où les propriétés des diélectriques et des aimants s'expliquent par la présence et les mouvements de particules électrisées

séparées par le vide. La polarisation électrique \vec{a} étant définie à partir des positions et l'aimantation \vec{A} à partir des mouvements de ces particules, les relations complémentaires prennent, dans un système de coordonnées rectangulaires, les formes :

$$\vec{b} = K_0 \vec{h} + \beta \vec{a} \quad \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \beta' \vec{A}.$$

Les actions mécaniques entre diélectriques polarisés ou entre aimants plongés dans un milieu polarisable ou aimantable donnent lieu à des lois complexes sur lesquelles MM. Liénard et Chipart ont récemment insisté et qui s'interprètent aisément à partir des lois fondamentales énoncées comme on le fait ici.

Les divers systèmes d'unités électriques correspondent à des choix particuliers des coefficients numériques α , α' , β , β' , λ ainsi que des valeurs K_0 et μ_0 du pouvoir inducteur spécifique et de la perméabilité magnétique dans le vide. Le tableau ci-dessous résume les plus simples de ces choix particuliers.

Tous ces choix satisfont à la relation qui donne la vitesse c des ondes électromagnétiques dans le vide :

- I, correspond au système électrostatique;
- II, au système électromagnétique;
- III, au système symétrique employé par Hertz;
- IV, à la proposition faite récemment par M. Abraham;
- V, au système rationnel de Heaviside-Lorentz.

Le sixième choix présente comme celui d'Heaviside-Lorentz l'avantage de supprimer le coefficient 4π dans

les équations de Maxwell et dans les relations complémentaires. Celles-ci se présentent dans le dernier

| | K_0 | μ_0 | λ | α | α' | β | β' |
|-----|-----------------|-----------------|-----------|----------|---------------|---------|---------------|
| I | 1 | $\frac{1}{c^2}$ | 1 | 1 | 1 | 4π | 4π |
| II | $\frac{1}{c^2}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 4π | 4π |
| III | $\frac{1}{c}$ | $\frac{1}{c}$ | 1 | 1 | 1 | 4π | 4π |
| IV | 1 | 1 | c | 1 | 1 | 4π | 4π |
| V | 1 | 1 | 1 | 1 | $\frac{1}{c}$ | 1 | $\frac{1}{c}$ |
| VI | 1 | 1 | c | 1 | 1 | 1 | 1 |

système sous la forme particulièrement simple :

$$\vec{b} = \vec{h} + \vec{a} \quad \vec{B} = \vec{H} + \vec{A}.$$

Ce sixième choix présente, en outre, comme celui de M. Abraham, l'avantage de faire figurer la vitesse de la lumière uniquement dans les lois d'action relatives aux particules électrisées en mouvement, et par l'intermédiaire du rapport $\frac{v}{c}$ de la vitesse d'une particule à la vitesse de la lumière. La force électromagnétique subie par une particule électrisée de charge e et de vitesse v en présence d'une induction magnétique B est donnée par

$$\vec{f} = e \left(\frac{v}{c} \times \vec{B} \right),$$

et le champ magnétique produit par la particule est, à distance r dans la direction qui fait l'angle θ avec celle de la vitesse :

$$H = \frac{e}{4\pi r^2 c} \sin \theta,$$

tandis que l'action subie par un élément de courant et le champ magnétique qu'il produit sont donnés par les formules habituelles

$$\vec{f} = i(d\vec{l} \times \vec{B}), \quad dH = \frac{i d \sin \alpha}{r^2}.$$

Cet avantage est d'ailleurs compensé par des incon-

vénients qui semblent devoir laisser la préférence au système de Heaviside-Lorentz. En appliquant ce choix de coefficients au nouveau système de mesures M. T. S., on constituerait un système d'unités électriques M. T. S. unique et on éviterait la complication résultant de l'existence des deux systèmes électrostatique et électromagnétique C. G. S.

Ainsi qu'il a été dit au début, on ne doit pas déduire de la forme particulière des relations complémentaires qui se réduisent, dans le vide, pour les choix IV, V et VI, à

$$\vec{b} = \vec{h}, \quad \vec{B} = \vec{H},$$

que les grandeurs induction et champ sont de même nature et doivent être mesurées au moyen d'une même unité. Les égalités précédentes entre les mesures de grandeurs différentes sont fortuites et résultent, d'une part, de l'emploi d'axes rectangulaires d'inertie (en chute libre) et du choix du pouvoir inducteur spécifique et de la perméabilité du vide comme unités *naturelles*.

Le choix du radian comme unité *naturelle* d'angle n'a jamais conduit à confondre les unités de travail et de moment d'une force ou d'un couple. Les unités restent distinctes et sont respectivement, dans le système C. G. S., l'erg et l'erg par radian.

La densité d'énergie dans le vide en présence d'un champ électrique h et d'un champ magnétique H est mesurée dans le système IV par :

$$\frac{h^2 + H^2}{8\pi},$$

et dans les systèmes V et VI par

$$\frac{h^2 + H^2}{2}.$$

En conclura-t-on, sous prétexte que les carrés des champs électrique et magnétique s'ajoutent en même temps que les énergies, que les champs sont de même nature, et mesurera-t-on un champ électrique en gauss et une densité d'énergie en gauss carrés comme on mesure une surface en centimètres carrés?

Ces conséquences s'imposeraient, cependant, au même titre que la mesure d'un champ et d'une induction magnétique au moyen de la même unité.

Dans la même voie de simplification, il serait utile, et on l'a déjà proposé bien des fois, de choisir la vitesse de la lumière dans le vide comme unité *naturelle* de vitesse en faisant $c = 1$, et de choisir la charge élémentaire commune à tous les électrons positifs et négatifs comme unité *naturelle* de quantité d'électricité. Dira-t-on qu'une intensité de courant, une différence de potentiel et une énergie ou une masse, qui prennent alors mêmes dimensions sont de même nature et les mesurera-t-on avec une même unité qui varierait en raison inverse de l'unité de longueur, seule unité fondamentale du système ainsi constitué?

Si, enfin, on veut achever la simplification des équations de la physique en rendant égale à l'unité la constante de la gravitation, on aura un système d'unités entièrement *naturel* dans lequel n'interviendra plus aucun choix arbitraire d'unité fondamentale. Considérera-t-on toutes les grandeurs physiques comme étant de même nature puisque leurs mesures se comportent maintenant comme des nombres purs (nombre d'électrons pour la charge électrique, rapport d'une vitesse à la vitesse de la lumière, d'un pouvoir inducteur ou d'une perméabilité à ceux du vide, etc.)?

Il semble au moins prématuré de s'engager dans cette voie et il est préférable de n'admettre l'identité de nature que dans le sens intrinsèque indiqué plus haut. Deux grandeurs ne peuvent être considérées comme étant de même nature que si l'égalité de leurs mesures ou des mesures de leurs composantes est indépendante du système d'unités ou du système de référence employé.

Les définitions rappelées plus haut pour les champs et les inductions, définitions qui correspondent au caractère invariant absolu des équations de Maxwell, dans le vide comme dans la matière isotrope ou non, en repos ou en mouvement par rapport à un système de référence quelconque, en présence ou non d'un champ de gravitation, ces définitions exigent que les champs

et les inductions soient considérés comme des grandeurs différentes et que leurs unités ne soient pas confondues.

Il suffit de passer d'un système de coordonnées rectangulaires (x, y, z) à un système oblique (ξ, η, ζ) dans le cas très simple où l'axe des η diffère de l'axe des y par rotation de l'angle $\frac{\pi}{2} - \theta$ autour de l'axe des z vers celui des x pour constater que déjà dans le vide et en l'absence de champ de gravitation les composantes du champ magnétique se transforment autrement que celles de l'induction. Je reproduis les formules déjà données dans le résumé de ma communication du 2 décembre 1921, en corrigeant une erreur de transcription.

$$\begin{aligned} H_{\xi} &= H_x & B_{\xi} &= B_x \sin \theta - B_y \cos \theta \\ H_{\eta} &= H_y \sin \theta + H_x \cos \theta & B_{\eta} &= B_y \\ H_{\zeta} &= H_z & B_{\zeta} &= B_z \sin \theta. \end{aligned}$$

De même, pour les grandeurs électriques :

$$\begin{aligned} h_{\xi} &= h_x & b_{\xi} &= b_x \sin \theta - b_y \cos \theta \\ h_{\eta} &= h_y \sin \theta + h_x \cos \theta & b_{\eta} &= b_y \\ h_{\zeta} &= h_z & b_{\zeta} &= b_z \sin \theta. \end{aligned}$$

Ces formules résultent des définitions données plus haut et sont les seules qui conservent leur forme aux équations de Maxwell. L'égalité fortuite obtenue en coordonnées rectangulaires dans le vide entre les mesures du champ et de l'induction sont remplacées par les relations :

$$\begin{aligned} B_{\zeta} \sin \theta &= H_{\xi} - H_{\eta} \cos \theta, \\ b_{\xi} \sin \theta &= h_{\xi} - h_{\eta} \cos \theta, \\ B_{\eta} \sin \theta &= H_{\eta} - H_{\xi} \cos \theta, \\ b_{\eta} \sin \theta &= h_{\eta} - h_{\xi} \cos \theta, \\ B_{\zeta} &= H_{\zeta} \sin \theta, \\ b_{\zeta} &= h_{\zeta} \sin \theta, \end{aligned}$$

qui représentent, dans ce système d'axes obliques, les formes les plus simples des relations vectorielles entre les champs et les inductions.

Il n'est donc pas possible de donner, même dans le vide, un sens intrinsèque à l'égalité entre un champ et une induction. Si on veut n'envisager, dans un but d'apparente simplification, que les changements d'unités ou de coordonnées pour lesquels cette égalité se conserve, on doit, par application des mêmes principes, aboutir à la conclusion que toutes les grandeurs physiques sont de même nature et que leurs mesures se réduisent à des nombres.

P. LANGEVIN.

Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique ?

Dans la discussion qui a eu lieu devant la Société de Physique, sur cette question, les contradictions paraissent provenir surtout de ce fait que les adversaires et les partisans de l'identité des deux grandeurs ne partent pas des mêmes définitions. Dans la présente note, l'auteur propose une définition de l'induction, qui a l'avantage de donner à cette grandeur une signification physique précise et de lui laisser les mêmes dimensions que pour le champ.

I. Considération sur la question. — 1. Dans la discussion qui a eu lieu sur cette question devant la Société française de Physique, discussion résumée par la « R. G. E. » (1), certains résultats contradictoires proviennent surtout de mauvaises définitions. Ainsi M. Liénard arrive à deux formules différentes pour \mathcal{B} suivant qu'il part des attractions magnétiques ou des attractions électriques ; de même il affirme que l'action entre deux feuillets ne dépend pas du milieu de la même façon que l'action entre deux aiguilles aimantées, ce qui est illogique, le feuillet devant être considéré tout simplement comme un aimant très court, et il est évident que la longueur d'un aimant ne doit pas intervenir dans l'influence du milieu.

Il résulterait aussi de la discussion que l'assimilation d'un courant à un feuillet ne donnerait pas les mêmes résultats, en ce qui concerne l'influence du milieu, que l'assimilation du courant à l'intégrale de champ le long d'une ligne de force.

2. Nous nous proposons de montrer que les contradictions précédentes tiennent à ce qu'on n'a pas précisé suffisamment la définition des grandeurs sur lesquelles on discute, ni la relation exacte entre le courant et le feuillet.

Il existe, en effet, deux façons de définir l'induction \mathcal{B} et suivant celle qu'on adopte, \mathcal{B} et \mathcal{H} auront ou non les mêmes dimensions.

D'autre part, l'argument de M. Brylinski, que \mathcal{B} et \mathcal{H} sont des grandeurs de natures différentes, parce que dans le fer \mathcal{B} a une infinité de valeurs pour la même valeur de \mathcal{H} (phénomène d'hystérésis) n'est pas probant ; il en est de même de l'affirmation contraire, mise souvent en avant, que la force magnétomotrice a les mêmes dimensions que l'intensité I du courant, parce que le rapport entre ces deux grandeurs est indépendant du milieu.

3. Pour montrer la faiblesse de ces arguments, nous allons prendre deux exemples dans la gravitation, ce qui nous permettra de faire saisir immédiatement notre façon de voir.

a) Le coefficient a de la formule de Newton $f = a \frac{mm'}{r^2}$

(1) R. G. E., du 2 juillet 1921 et 24 septembre 1921.

est une constante et pourtant il a des dimensions

b) Considérons le champ gravifique autour de la Terre.

L'intensité de ce champ en un point A peut être définie de deux façon différentes :

a) La définition habituelle, par la force qui s'exerce sur l'unité de masse placée dans le vide ; on trouve la valeur

$$(1) \quad g = \frac{F}{m},$$

F étant l'action que la Terre exerce sur la masse m , si elle est placée dans le vide ou encore si elle est assez petite pour pouvoir être placée dans un espace intermoléculaire.

b) On peut encore définir le champ en un point par la force qui s'exerce effectivement sur l'unité de masse placée en ce point, c'est-à-dire tenir compte de la poussée de l'air. Si f est la force réelle qui s'exerce sur une masse m placée au point A, et m' la masse de l'air occupant le même volume que m , on a $f = (m - m')g$.

En désignant par γ le rapport $\gamma = \frac{f}{m}$ on aurait

$$(2) \quad \gamma = \frac{m - m'}{m} g.$$

Si on adopte l'habitude prise en électricité, c'est par γ qu'on devrait désigner le champ gravifique au point A.

La grandeur g est le champ préexistant, c'est-à-dire le vecteur qui caractérise l'état de l'éther au point considéré sous l'influence gravifique de la Terre, tandis que γ est le vecteur qu'on doit introduire dans les formules pour déterminer l'action qui s'exerce entre la Terre et un corps matériel en tenant compte du milieu.

Pour ce qui nous intéresse pour l'instant, il suffit de constater que γ et g sont deux grandeurs de même nature, et pourtant, pour chaque valeur de g , γ prend une infinité de valeurs, qui dépendent, non seulement de la nature du milieu, mais aussi de la nature du corps placé en A, de la température, de la pression, etc. ; γ peut même être négatif si on a $m < m'$; il prend une infinité de valeurs pour chaque valeur de g .

II. Champ et induction dans un champ créé par des masses électriques. — Nous nous occupons d'abord de ce cas parce que les conditions sont mieux définies. Nous étudierons ensuite le cas des champs magnétiques. Nous verrons que dans les deux cas on peut définir une grandeur analogue à γ (c'est le champ \mathcal{E}) et une grandeur analogue à g (qui devrait, à notre avis, être désignée par l'induction \mathcal{B}). Nous emploierons des méthodes élémentaires, pour nous mettre à la portée des ingénieurs que la question intéresse.

1. CHAMP ET INDUCTION DANS LE VIDE. — Considérons des conducteurs chargés C_1, C_2, C_3, \dots placés dans le vide (ou l'éther). Sous leur influence, l'éther prend un état élastique particulier; ses éléments se trouvant soumis à des tensions suivant certaines courbes appelées lignes d'induction et à des compressions suivant les directions perpendiculaires à ces courbes.

Cet état élastique se manifeste par l'action qui s'exerce sur des masses électriques; mais si on place en un point A une masse électrique réelle, sa présence change l'état qu'a pris l'éther sous l'influence des conducteurs chargés C_1, C_2, C_3, \dots . Il en résulte que, pour explorer l'état particulier de l'éther en chaque point A nous devons supposer placé en ce point une masse électrique passive, c'est-à-dire telle que sa présence ne trouble pas la répartition des lignes d'induction produite par les conducteurs C_1, C_2, C_3, \dots .

On est ainsi amené à caractériser l'état de l'éther en chaque point par un vecteur défini par la force qui s'exercerait sur l'unité de masse positive placée en ce point, si cette masse était passive, c'est-à-dire si sa présence ne changeait pas l'état élastique de l'éther. Nous appelons ce vecteur induction (\mathcal{B}).

Si nous considérons maintenant la force qui s'exerce sur une masse électrique réelle q placée en A, cette force est proportionnelle à q ; le facteur de proportionnalité est désigné sous le nom de champ ou intensité du champ au point considéré. Le champ \mathcal{E} en un point A est donc la force qui s'exerce sur l'unité de masse positive, réelle ou active, placée en ce point.

Le champ \mathcal{E} est un facteur de proportionnalité entre les forces et les masses électriques; il n'est pas préexistant, comme on le dit habituellement; sa valeur en chaque point doit être prise en tenant compte de l'influence sur le milieu ambiant de la masse sur laquelle on cherche l'action.

Dans l'éther on a $\mathcal{B} = \mathcal{E}$, parce que, l'éther n'étant pas polarisable, le trouble apporté par la présence d'une masse en un point ne change pas la force qui s'exerce sur elle; il n'en sera pas de même dans un diélectrique, comme nous le verrons plus loin.

Dans le cas particulier où le champ est créé dans le vide par un seul conducteur de dimensions très petites portant une charge q , on a

$$\mathcal{B} = \mathcal{E} = k \frac{q}{r^2},$$

r étant la distance du point A au conducteur.

2. CHAMP ET INDUCTION DANS UN MILIEU DIÉLECTRIQUE. — Supposons maintenant l'espace dans lequel sont placées les conducteurs C_1, C_2, C_3 , rempli d'un diélectrique. Sous l'influence des charges des conducteurs, le diélectrique se polarise et l'état du milieu en chaque point est encore caractérisé par le vecteur \mathcal{B} (induction), défini par la force qui s'exercerait sur l'unité de masse positive placée en ce point, cette masse étant assez petite pour pouvoir être placée entre les molécules de diélectrique, et passive, c'est-à-dire telle que sa présence ne change pas la polarisation du diélectrique ni l'état élastique de l'éther.

Le vecteur \mathcal{E} défini par la force qui s'exerce en A sur l'unité masse positive, active ou réelle, c'est-à-dire en tenant compte du trouble que sa présence apporte dans l'éther et le diélectrique, est différent du vecteur \mathcal{B} .

a) Expression de \mathcal{B} dans un diélectrique. — On suppose le diélectrique formé de molécules ayant chacune deux charges électriques égales et de signes contraires (doublets électriques). Le point où nous cherchons la valeur de \mathcal{B} doit être supposé placé dans un espace intermoléculaire, donc dans le vide. L'action qui s'exerce sur une masse $+1$ passive, c'est-à-dire \mathcal{B} , est la résultante des vecteurs de forme $k \frac{dq}{r^2}$, provenant des charges des conducteurs et des masses électriques des doublets.

Considérons, pour simplifier, le cas d'un diélectrique parfait remplissant tout l'espace. Dans un tel diélectrique les axes des doublets ont la direction et le sens des lignes d'induction, celles-ci ayant la même forme que dans le vide; l'induction a donc en chaque point la même direction et le même sens que dans le vide. Il est facile de démontrer qu'elle a aussi la même valeur,

c'est-à-dire que la résultante des vecteurs $k \frac{dq}{r^2}$ provenant des charges des doublets est nulle.

Considérons en effet une surface Σ formée de : un élément de surface dS normal à \mathcal{B} au point A, le tube d'induction limité au contour de dS et que nous supposons pour fixer les idées, qu'il ne touche qu'un conducteur C_i , sur la surface duquel il limite un élément de surface ds , enfin une surface de forme quelconque intérieure au conducteur.

La surface Σ peut être supposée tracée dans les espaces intermoléculaires, donc dans le vide, et on peut lui appliquer le théorème de Gauss, à condition qu'on tienne compte de toutes les masses qui se trouvent à son intérieur. Le flux d'induction à travers Σ est donné par la formule

$$d\Phi = \mathcal{B} dS;$$

d'autre part on a

$$(3) \quad d\Phi = 4\pi k (\sigma ds + \Sigma dq),$$

σ étant la densité électrique sur la surface ds du conducteur, Σdq la somme des charges des doublets diélec-

triques. Or $\Sigma dq = 0$, car à l'intérieur de la surface se trouve un nombre entier de molécules de diélectrique. On a donc

$$(3') \quad d\Phi = 4\pi k \tau ds.$$

En égalant (1) à (3') on déduit

$$(4) \quad \mathcal{B} = 4\pi k \sigma \frac{ds}{dS},$$

résultat indépendant de la nature du diélectrique. Donc :

Dans un champ créé par des conducteurs chargés isolés (charges électriques invariables), placés dans un diélectrique remplissant tout l'espace, l'induction \mathcal{B} en chaque point est indépendante de la nature du diélectrique; elle est donc la même que dans le vide.

b) *Expression de \mathcal{X} dans un diélectrique parfait remplissant tout l'espace.* — Lorsqu'on place dans un tel diélectrique un petit conducteur A chargé d'une masse électrique $+1$ active, les doublets voisins se dirigent de façon qu'il se forme autour de la surface de A une couche électrique ayant la même distribution que celle de la charge répartie sur A. Cette couche a donc, comme celle de A, une action nulle à son intérieur et en particulier sur la masse en A.

Donc l'action qui s'exerce sur la masse $+1$ active placée en A, c'est-à-dire \mathcal{X} , est la résultante des actions des charges des divers conducteurs C_1, C_2, C_3, \dots , et des doublets diélectriques, moins celles de la couche électrique qui couvre la face du diélectrique voisine du petit conducteur A.

Cette résultante se réduit, en dernière analyse, à celle des charges des conducteurs C_1, C_2, C_3, \dots , plus celles des couches électriques qui couvrent les faces diélectriques en contact avec celles des conducteurs ⁽¹⁾, les autres masses des doublets diélectriques produisant des actions égales deux à deux et de signes contraires.

Si σ est la densité électrique sur un élément de surface ds d'un conducteur et σ' la densité sur l'élément de surface diélectrique voisin, on a

$$(5) \quad \mathcal{X} = k \frac{(\sigma - \sigma') ds}{r^2},$$

\mathcal{X} étant l'action exercée sur la masse $+1$ par ces deux éléments.

Pour mettre la formule (5) sous une forme convenable, nous allons remarquer que dans un diélectrique parfait on a $\sigma' = \mathcal{J}$, \mathcal{J} étant l'intensité de polarisation, et que celle-ci est, dans un diélectrique parfait, proportionnelle au champ.

Si on écrit

$$(6) \quad \mathcal{J} = \frac{x}{k} h^{(1)},$$

⁽¹⁾ Pour plus de détails voir : ILIOVICI, *Cours d'Electrotechnique*, page 103 et suivantes. Librairie de l'Enseignement technique, 3, rue Thénard, Paris.

h étant le champ, x est la susceptibilité diélectrique (constante sans dimensions ⁽¹⁾).

D'après ce qui précède, h est le champ en un point infiniment voisin de l'élément ds . Or pour avoir h on a le droit d'appliquer le théorème de Coulomb, à condition qu'on tienne compte de la couche diélectrique. On a donc :

$$h = 4\pi k (\sigma - \sigma'),$$

donc

$$\sigma' = \mathcal{J} = \frac{x}{k} h = 4\pi x (\sigma - \sigma'),$$

d'où

$$\sigma' = \frac{4\pi x}{1 + 4\pi x} \sigma \quad \text{et} \quad \sigma - \sigma' = \frac{\sigma}{1 + 4\pi x} = \frac{\sigma}{K}.$$

2° La constante $K = 1 + 4\pi x$, est la constante diélectrique du milieu.

En remplaçant dans la formule (5) on trouve :

$$(5) \quad \mathcal{X} = \frac{k}{K} \frac{\sigma ds}{r^2}.$$

Dans le vide on aurait trouvé :

$$\mathcal{X}' = k \frac{\sigma ds}{r^2}.$$

Donc : dans le champ créé par des conducteurs chargés isolés (charges constantes) placés dans un diélectrique parfait remplissant tout l'espace, le champ en un point est K fois plus petit que dans le vide, ou encore, en tenant compte de ce qui a été dit pour \mathcal{B} , K fois plus petit que l'induction au même point. On a $\mathcal{X} = \frac{\mathcal{B}}{K}$. La constante K est une grandeur sans dimension.

3. FLUX D'INDUCTION. — THÉORÈME DE GAUSS. — Le flux d'induction à travers une surface fermée est

$$\Phi = 4\pi k \Sigma Q,$$

ΣQ étant la somme des charges des conducteurs contenus à l'intérieur de la surface.

4. POTENTIEL. — Le potentiel est le travail des forces qui agissent sur l'unité de masse $+1$ réelle ou active, c'est donc le travail du champ \mathcal{X} . Dans un champ produit par des conducteurs à charges constantes le potentiel en un point est K fois plus petit dans un diélectrique parfait que dans le vide; en particulier le potentiel de chaque conducteur est K fois plus petit dans un diélectrique parfait que dans le vide.

⁽¹⁾ Nous écrivons $\frac{x}{k}$, justement pour que la constante x soit sans dimension et qu'elle ait ainsi sa signification habituelle.

5. ÉNERGIE. — L'expression de l'énergie est donnée par la formule

$$(6) \quad W = \frac{1}{8\pi k} \iint \mathcal{B} \mathcal{E} dv,$$

quelle que soit la nature du milieu (diélectrique parfait ou vide). La formule (6) contient la grandeur $\frac{\mathcal{B}}{k}$ dont l'intégrale le long d'une surface est une quantité d'électricité, et la grande \mathcal{E} dont l'intégrale le long d'une courbe est une différence de potentiel électrique.

6. CHAMP CRÉÉ PAR DES CONDUCTEURS A POTENTIEL CONSTANT. — Il résulte de ce qui précède que, si on maintient constants les potentiels des conducteurs (conducteurs reliés à des sources de force électromotrice constante), les charges de ces conducteurs sont K fois plus grandes dans un diélectrique parfait que dans le vide. Dans ce cas l'induction \mathcal{B} est donc K fois plus grande dans un diélectrique que dans le vide et le champ \mathcal{E} est indépendant de la nature du diélectrique.

III. Champ et induction dans un champ magnétique. — Tout ce qui concerne les champs électriques produits par des conducteurs à charges constantes, s'applique aux champs magnétiques produits par des aimants et des feuillets, en remplaçant les termes : électrique par magnétique, intensité de polarisation par intensité d'aimantation, diélectrique parfait par substance paramagnétique, constante diélectrique K , par perméabilité magnétique μ , et la constante k de la formule de Coulomb appliquée aux masses électriques par la constante k' de la formule de Coulomb appliquée aux masses magnétiques.

Les définitions du champ \mathcal{E} , de l'induction \mathcal{B} et de l'intensité d'aimantation \mathcal{J} s'appliquent aussi aux corps ferromagnétiques. Les coefficients κ et μ sont alors variables et les relations entre \mathcal{E} , \mathcal{J} et \mathcal{B} sont, dans le cas général, des relations géométriques.

1. CHAMPS MAGNÉTIQUES CRÉÉS PAR DES COURANTS ÉLECTRIQUES. — Les expériences de Biot et Savart montrent que l'intensité d'un courant est proportionnelle à un potentiel magnétique, le coefficient de proportionnalité étant indépendant du milieu, au moins tant que celui-ci est homogène, isotrope et qu'il remplit tout l'espace. De l'indépendance de ce coefficient du milieu ne résulte nullement qu'il est de dimensions nulles ; par contre il en résulte qu'un courant constant produit un champ magnétique dont le potentiel en chaque point est indépendant du milieu. Si donc on veut assimiler une spire parcourue par un courant à un feuillet, ce n'est pas à un feuillet de puissance constante qu'il faut l'assimiler, comme on le fait d'habitude, mais à un feuillet relié à une source de magnétisme, qui maintiendrait constants les potentiels magnétiques de ces deux faces.

On peut encore dire que si un courant I produit dans

le vide le même champ (et la même induction) qu'un feuillet de puissance \mathcal{E} , il produira dans un milieu magnétique un champ (et une induction) μ fois plus grande, que ce feuillet (μ étant la perméabilité du milieu).

2. Les conclusions contradictoires de M. Liénart, soit en ce qui concerne les relations entre \mathcal{B} et \mathcal{E} , soit en ce qui concerne les actions entre aimants et feuillets, proviennent de ce qu'il met la relation entre \mathcal{J} et \mathcal{E}

sous la forme $\mathcal{J} = \kappa \mathcal{E}$ au lieu de $\mathcal{J} = \frac{\kappa \mathcal{E}}{k}$ et de ce qu'il assimile un courant à un feuillet de puissance constante, comme on le fait d'habitude, au lieu de l'assimiler à un feuillet dont les deux faces sont à des potentiels indépendants du milieu, donc à puissance variable égale à $\mu \mathcal{E}$, \mathcal{E} étant la puissance du feuillet équivalent au courant dans le vide.

3. D'après les idées de M. Brylinski, l'induction \mathcal{B} dans un champ créé par une masse ponctuelle m serait donnée par la formule $\mathcal{B} = \frac{m}{r^2}$, qui diffère de notre

façon de définir \mathcal{B} : $\mathcal{B} = k' \frac{m}{r^2}$, par l'absence de la constante de proportionnalité k' .

Notre définition a deux avantages essentiels :

- 1° Elle permet une interprétation physique de l'induction, qui est le véritable champ préexistant ;
- 2° Elle permet de garder la même unité pour \mathcal{B} et pour \mathcal{E} , dans tous les systèmes d'unités et en particulier dans le système électromagnétique.

D'autre part, on ne peut pas faire à notre système le reproche de condamner les grandeurs électriques et magnétiques à avoir des dimensions fractionnaires, ni d'empêcher les recherches, du sens réel des grandeurs électriques et magnétiques.

En effet si, dans notre système, μ et κ n'ont pas de dimension, les grandeurs \mathcal{B} et \mathcal{E} , contiennent la constante k' qui a les dimensions que M. Brylinski attribue à μ et par conséquent c'est sur k' que doivent porter les recherches, de même d'ailleurs que sur la constante de la formule de Laplace (ou de Biot et Savart) qu'aucun motif sérieux ne permet de décréter sans dimension.

Nous avons déjà répondu à l'argument de M. Brylinski, pour lequel μ doit avoir des dimensions parce qu'il est essentiellement variable — la variabilité d'une grandeur et même la non-uniformité de sa variation ne prouve pas qu'elle a des dimensions (voir plus haut l'exemple de la gravitation), de même que son indépendance du milieu ne prouve pas qu'elle n'en a pas.

4. Quoi qu'il en soit le problème des dimensions des unités est avant tout une question de définitions et c'est sur celles-ci que doit porter la discussion.

Si on adopte pour \mathcal{B} la définition $\mathcal{B} = \frac{m}{r^2}$, c'est une

grandeur différente de \mathcal{H} — et il faut adopter des noms différents pour leurs unités.

Si on adopte la définition $\mathcal{B} = k' \frac{m}{r^2}$, \mathcal{B} et \mathcal{H} sont des grandeurs de même nature, elles ont les mêmes dimensions dans tous les systèmes d'unités et doivent être mesurées par la même unité.

La grandeur \mathcal{B} telle que nous la définissons, a toutes les propriétés qu'on doit attribuer au vecteur *induction* : cette définition nous paraît donc la plus acceptable, pour les motifs développés plus haut.

A. ILIOVICI.

Revue, analyses et informations

Sur l'identité de nature du champ magnétique et de l'induction magnétique.

Tel est le titre de la communication faite par M. Henri Abraham à la séance du 10 février 1922 de la Société française de Physique en réponse à la communication antérieure de M. Langevin reproduite plus haut et comme contribution à la discussion de la question : Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique ?

Voici le résumé de cette communication.

L'auteur rappelle d'abord la question posée : doit-on prendre des unités différentes dans le système C. G. S. électromagnétique pour mesurer le champ et l'induction ?

Le dédoublement des unités n'est certainement pas acceptable si le champ et l'induction sont des quantités de même nature. M. Langevin vient de présenter contre cette identité de nature un argument indirect qui peut être résumé ainsi :

Pour maintenir aux équations de Maxwell une forme invariante dans un changement d'axes de coordonnées, il faut faire subir des transformations différentes aux composantes de H et de B . Ce ne sont donc pas des quantités de même espèce, et l'égalité des mesures du champ et de l'induction dans le vide n'a pas de signification intrinsèque.

M. Abraham ne croit pas pouvoir souscrire à ces conclusions. Il va montrer :

1° Que l'argument ci-dessus semble reposer sur une confusion de mots ;

2° Que si l'on se reporte aux définitions, il faut considérer l'égalité des mesures du champ et de l'induction dans le vide comme ayant un sens absolu.

Sur le premier point, on voit d'abord qu'on arriverait à des conclusions inadmissibles en appliquant textuellement le même raisonnement à l'étude de l'hydrodynamique ou d'un champ de gravitation. Plus simplement encore, considérons une multiplicité de vecteurs purement géométriques AB dirigés des différents points A de l'espace vers un point fixe O et variant en raison inverse du carré de la distance AO : l'application du même raisonnement conduirait à déclarer que l'identité du vecteur AB avec lui-même n'a aucune signification intrinsèque.

La confusion provient de ceci :

Les lois de l'électromagnétisme font intervenir des *flux* de vecteur, et des *intégrales de lignes* de ces vecteurs. Quand on opère en coordonnées obliques, le flux d'un vecteur s'exprime sous une forme simple et invariante au moyen des *projections obliques* du vecteur sur les axes, faites parallèlement au plan des coordonnées et multipliées toutes trois par le

déterminant de la transformation linéaire du changement d'axe.

Par contre, pour représenter l'intégrale de ligne de ce vecteur sous une forme simple et invariante, il est *plus commode* de se servir de ses *projections orthogonales* sur les axes.

Les équations de Maxwell peuvent s'écrire sous des formes invariantes en employant, pour tous les vecteurs, soit les projections obliques, soit les projections orthogonales. Mais on a une forme un peu plus simple quand on consent à faire figurer des projections orthogonales dans les premiers membres des équations et des projections obliques dans les seconds membres : c'est ce que fait M. Langevin. Dans le cas du vide, le vecteur unique *champ-induction* figure alors en même temps par ses deux séries de projections. Ce sont ces groupes *distincts* de projections (orthogonales et obliques) que M. Langevin a appelées indifféremment *composantes* de B et *composantes* de H . L'argument en question consiste donc, en définitive, à constater que les projections orthogonales et les projections obliques d'un même vecteur subissent des transformations différentes dans un changement d'axes.

On voit que rien ne s'oppose, dans tout ceci, à ce que l'on considère B et H comme identiques dans le vide.

Au surplus, n'en est-il pas ainsi *par définition* ?

La plupart des traités d'électricité ont adopté pour le champ et l'induction les définitions de lord Kelvin et de Maxwell. Voici le texte de Maxwell :

1° *Par définition, nous appellerons force magnétique (on dit maintenant champ) à l'intérieur de l'aimant, la force à l'intérieur d'une cavité de cette forme (infiniment déliée dans le sens de l'aimantation) ;*

2° *Par définition, nous appellerons induction magnétique à l'intérieur de l'aimant la force qui agit à l'intérieur d'une cavité en forme de disque (perpendiculaire à l'aimantation).*

Le champ et l'induction sont donc bien de même espèce, *par définition*, et il faut les mesurer avec la même unité.

Cette conclusion subsiste quand on présente les définitions de Maxwell sous un aspect différent, ou si on leur donne une forme plus générale en spécifiant, par exemple, que les mesures sont supposées faites pour B comme pour H par un observateur en repos ou par un observateur en mouvement.

Il n'en serait plus de même, évidemment, si l'on changeait radicalement l'ensemble des définitions concernant la mesure des grandeurs électriques. Il faudrait alors changer aussi toutes leurs dénominations pour que l'on ne puisse pas confondre le *néo-champ* ou la *néo-induction* avec le

champ et l'induction de lord Kelvin et de Maxwell : mais cela demanderait à être étudié avec grand soin.

DISCUSSION. — La communication de M. ABRAHAM a été suivie d'une discussion à laquelle ont pris part : MM. POMEY, JANET, LANGEVIN, HADAMARD, BRYLINSKI et ABRAHAM.

M. Emile PICARD, qui présidait la séance, dit en terminant :

L'heure est venue de lever la séance, sinon de clore la discussion. Les avis paraissent très partagés sur ce qu'on doit entendre par grandeurs de même nature. Dans une séance antérieure, M. Langevin a développé sur ce sujet des considérations, visiblement inspirées par la théorie de la relativité, d'après lesquelles des grandeurs ne sont pas de même nature, si elles subissent des transformations différentes quand on change le système de référence. D'autres, comme M. Abraham, se méfiant peut-être de ces généralités, préfèrent n'envisager que des mesures spéciales se rapportant à un ordre particulier de phénomènes. Il reste, d'ailleurs, possible qu'il y ait intérêt à changer certaines définitions. Quoi qu'il en soit, des discussions brillantes, comme celles que nous venons d'entendre, qui touchent à la fois à la pratique et aux problèmes les plus élevés de la philosophie naturelle, font grand honneur à la Société française de Physique. Les questions soulevées réapparaîtront sans doute encore plus d'une fois sur nos ordres du jour.

Action de la chaleur et de la lumière sur la conductibilité de certains sulfures.

Sous ce titre, M. P. VAILLANT a fait une communication à la séance du 18 novembre 1921 de la Société française de Physique; voici le résumé de cette communication.

Les sulfures alcalino-terreux, très mauvais conducteurs lorsqu'ils sont absolument secs, prennent, ainsi que le fait remarquer Lénard, une conductibilité sensible dès qu'ils sont humides; en particulier, les produits du commerce sont relativement bons conducteurs (résistivité de l'ordre de 100 mégohms).

Cette conductibilité est de nature électrolytique. Le sulfure pulvérisé étant comprimé entre électrodes identiques, celles-ci, sous l'action d'un courant continu, se polarisent lentement, d'autant plus lentement que la force électromotrice appliquée est plus faible. Sous 2 v, la polarisation croît encore au bout de 24 heures; pour des forces électromotrices de l'ordre de 100 v, elle atteint sa limite (3,6 v pour CaS entre électrodes de laiton) au bout d'une demi-heure environ. Après suppression du courant, la polarisation se maintient pour ainsi dire indéfiniment; elle disparaît lentement par mise en court-circuit.

Un sulfure étant en équilibre à une certaine température, si l'on vient à modifier celle-ci, la conductibilité subit une variation brusque, laquelle est une augmentation ou une diminution suivant qu'il y a eu échauffement ou refroidissement. Cette variation brusque est suivie d'une variation progressive dirigée, au moins au début, en sens inverse de la précédente.

VARIATION BRUSQUE. — Vis-à-vis de ce premier effet, la conductibilité se comporte comme une fonction exponentielle de la température, autrement dit on peut écrire

$$(1) \quad \log c = a + bT,$$

c étant la conductibilité à la température absolue T , a et b deux constantes dont la première dépend de la conductibilité

initiale, mais dont la seconde en est indépendante; en particulier, b est le même qu'on parte d'un sulfure à l'état d'équilibre ou du même sulfure en voie d'évolution progressive. Pour CaS par exemple, la valeur de b est telle que la conductibilité soit doublée pour une élévation de température de 8° environ.

A l'ordre d'approximation des résultats, on peut d'ailleurs substituer à la formule (1) une autre formule de la forme

$$(2) \quad \log c = \alpha - \frac{\beta}{T},$$

α et β étant deux constantes dont la seconde est indépendante des conditions initiales.

VARIATION PROGRESSIVE. — Elle est beaucoup plus importante, au moins lorsqu'il s'agit d'un refroidissement.

Dans une première phase du phénomène, la conductibilité varie avec le temps suivant une loi très sensiblement exponentielle.

$$(3) \quad \frac{c_t}{c_0} = a + b \times m',$$

a , b , m étant trois constantes dont les deux premières dépendent des conditions initiales et dont la troisième m caractérise à la fois le sulfure et la température d'où l'on est parti. Cette constante m est supérieure ou inférieure à l'unité suivant qu'à partir de cette température il y a eu refroidissement ou échauffement. Avec CaS, par exemple, la température de départ étant de 20°, on a respectivement

$$m \begin{cases} 0^\circ - 1,206, \\ 14^\circ 2 - 1,007, \\ 23^\circ 8 - 0,871, \\ 31^\circ 6 - 0,2055, \\ 42^\circ 3 - 0,0338, \end{cases}$$

le temps étant exprimé en heures.

En première approximation, la constante m est une fonction exponentielle de la température, qui diffère d'ailleurs suivant qu'il s'agit d'un refroidissement ou d'un échauffement, c'est-à-dire suivant que $\log m$ est positif ou négatif.

La formule (3) ne s'applique qu'aux premières heures du phénomène. La variation devient progressivement moins rapide que celle prévue par la formule, et il y a finalement passage, suivant le cas, par un maximum ou un minimum.

Pour un même écart avec la température origine, l'amplitude totale de la variation est beaucoup plus grande dans le cas d'un maximum (refroidissement) que dans le cas d'un minimum (échauffement). Par contre, le maximum est atteint beaucoup plus tard. Ainsi, pour CaS, la température de départ étant de 20°, il y a, à 14° 2, passage au bout de 10 jours par un maximum 700 fois plus grand que la conductibilité initiale, et à 31° 6 passage, après 17 heures, par un minimum trois fois plus petit que la conductibilité origine.

Après passage par le maximum ou le minimum, la conductibilité varie en sens inverse, mais elle n'atteint sa valeur limite qu'après un temps très long et par une série d'oscillations d'amplitude décroissante. Les expériences n'ont pu d'ailleurs être prolongées assez longtemps pour atteindre nettement l'équilibre.

PbS pulvérisé présente les mêmes caractères que les sulfures alcalino-terreux. Seulement les variations sont beau-

coup plus lentes, en sorte qu'il a été jusqu'ici impossible d'observer le passage par un maximum ou un minimum.

ACTION DE LA LUMIÈRE. — Cette action est très irrégulière et dépend vraisemblablement du degré d'évolution du sulfure à la température où l'on opère. Le plus ordinairement, elle porte sur les dixièmes ; très exceptionnellement, on a observé des variations de l'ordre de 1 à 100 et même davantage. Sous l'influence du flux excitateur, la conductibilité croît lentement jusqu'à un maximum, puis diminue ; après retour à l'obscurité, elle croît à nouveau, monte à un maximum beaucoup plus élevé que le premier et qui est atteint beaucoup plus tard, puis elle décroît constamment.

Parmi les radiations visibles, seules les radiations rouges paraissent actives.

Si l'on chauffe lentement un sulfure phosphorescent non isolé, sous l'action combinée du temps et de la variation de température, la conductibilité augmente d'abord, passe par un maximum, puis décroît. Si le sulfure est préalablement isolé, la variation est plus compliquée. Dès le début de l'échauffement, la conductibilité augmente très rapidement, passe par un maximum très aigu, descend très vite jusqu'à un minimum après lequel elle varie suivant la loi générale d'un sulfure non isolé.

Démonstration des discontinuités de l'aimantation par les amplificateurs et les téléphones.

A la séance du 16 décembre 1921 de la Section de Strasbourg de la Société française de Physique, MM. P. WEISS et G. RIBAUD ont présenté sur ce sujet une communication dont voici le résumé.

Barkhausen a découvert en 1919 que, lorsqu'on soumet une substance ferromagnétique à l'action d'un champ magnétique croissant d'une manière continue, l'accroissement de l'aimantation produit des discontinuités. Cet effet a été mis en évidence par les courants induits dans une bobine et qui, renforcés par un amplificateur à lampes, sont reçus dans un téléphone. Celui-ci rend un son caractéristique qui est, suivant le nombre et l'importance des discontinuités, un bruissement ou un crépitement. Ce phénomène a fait depuis lors l'objet d'une étude de M. B. van der Pol Jr. qui a noté un certain nombre de ses particularités.

Ces discontinuités se rattachent à la partie irréversible des variations d'aimantation. Elles n'apparaissent abondantes que dans les régions de variation rapide des cycles, c'est-à-dire surtout pour des champs voisins du champ coercitif. Van der Pol admet qu'elles sont causées par des modifications brusques de la direction de l'aimantation spontanée qui se produisent dans l'étendue des cristaux élémentaires composant les substances, isotropes en apparence.

Nous avons pu, avec deux amplificateurs basse fréquence de trois lampes en série et un ensemble de deux téléphones rendus hauts parleurs par l'adjonction de cornets acoustiques, faire entendre ce phénomène à un auditoire nombreux.

Voici quelques expériences faciles à montrer :

1° *Magnétite.* — Avec une plaque de cette substance de 7 cm de longueur taillée dans un beau cristal de Brozzo parallèlement à la face de l'octaèdre, nous avons obtenu un bruissement très intense. Cette observation s'accorde bien avec l'étude directe des propriétés magnétiques qui montre que la symétrie cubique n'est que grossièrement réalisée et

résulte sans doute d'un groupement d'édifices cristallins de symétrie moindre. Le bruit observé résulte des grains, probablement assez gros de ce groupement.

2° *Fer doux, invar.* — Avec des tiges ou des fils de ces deux substances, l'observation est très facile. Il est particulièrement intéressant de constater que si, après avoir aimanté la substance dans le sens positif, par exemple, on fait agir un champ négatif h de l'ordre du champ coercitif, le phénomène n'existe plus pour toutes les variations du champ comprises entre h et zéro. Cela tient à ce que, dans ces limites, les variations d'aimantation sont, depuis lors, réversibles. Si l'on dépasse la limite h en faisant agir un champ démagnétisant un peu plus fort h' , le phénomène réapparaît, après quoi c'est h' qui est la limite de la région silencieuse. C'est comme si la réserve de bruit avait été épuisée jusqu'en h d'abord, jusqu'en h' ensuite.

3° *Champ terrestre.* — Si, plaçant la magnétite de l'expérience ci-dessus dans une bobine induite, on l'aimante d'abord avec un aimant en acier dans le sens du champ terrestre, puis, après avoir éloigné l'aimant, on la retourne bout pour bout de manière à faire agir le champ terrestre en sens inverse de son aimantation, on entend nettement le bruit caractéristique.

4° *Viscosité magnétique.* — Elle est facile à observer avec un tore qui a été aimanté dans le sens positif, par exemple, et que l'on soumet brusquement à un champ négatif. Quand ce dernier est voisin du champ coercitif, la viscosité se manifeste par le bruissement dû aux discontinuités, qui continue avec une grande intensité pendant un temps assez long (jusqu'à 14 secondes).

La valve thermo-ionique comme génératrice d'oscillations entretenues modulées (1).

On sait que la réception des ondes entretenues, quel que soit le type d'appareil émetteur utilisé (alternateur à haute fréquence, arc Poulsen, valves ioniques génératrices, etc.), nécessite la modulation des oscillations à une fréquence téléphonique. La modulation peut être faite dans la station émettrice, soit avec un interrupteur automatique (Chopper), soit à l'aide d'un microphone (comme en téléphonie), soit enfin à l'aide d'un ticker ou d'un dispositif hétérodyne ou autodyne à la station réceptrice. Cette dernière méthode est la plus employée en radiotélégraphie.

Dans le cas particulier de lampes génératrices de courants oscillants modulés, l'interrupteur automatique, qui provoque la modulation, agit sur la tension continue appliquée à l'anode. L'interruption périodique du circuit d'alimentation réduit à zéro le courant de l'antenne.

L'auteur s'est proposé d'obtenir le même résultat en employant comme tension anodique une tension alternée à fréquence musicale. Et, en effet, si la fréquence du courant d'alimentation est f et si la valeur maximum de la tension alternative est E_b , l'anode sera positive par rapport au filament f fois à la seconde, dans l'intervalle pendant lequel la tension d'alimentation varie entre 0 et $+E_b$, et négative un nombre égal de fois, dans l'intervalle pendant lequel la tension anodique varie entre 0 et $-E_b$. On aura un courant dans l'antenne pendant environ la demi-période pendant laquelle l'anode est positive, et ce courant sera nul pendant la plus grande partie de l'autre demi-période pendant laquelle l'anode est négative.

Se basant sur ces résultats, l'auteur a construit l'appareil

(1) *Scientific Papers of the Bureau of Standards*, n° 381.

émetteur représenté figure 1. La lampe émettrice E est du type pliotron, très employé en Amérique. Un alternateur à 500 p : s d'une puissance de 2 kw alimente le transforma-

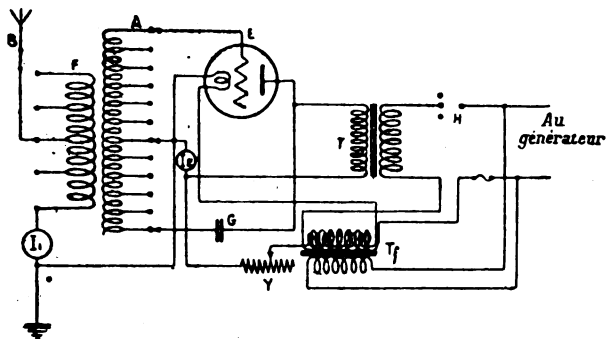


Fig. 1.

teur anodique T et le transformateur du courant de chauffage du filament T_f . Le premier élève la tension de 180 v à l'alternateur à 6 500 v sur l'anode ; le second l'abaisse à environ 110 v. Afin de maintenir constante l'intensité du courant de chauffage du filament, en dépit des variations de tension produites par la charge à laquelle la lampe est soumise pendant la manipulation, le transformateur T_f est

muni d'un enroulement compensateur en série avec le primaire de T ; la nécessité de cet enroulement compensateur résulte du fait que les variations de puissance absorbée par la lampe, par suite de la manœuvre au manipulateur, sont d'autant plus fortes que la tension anodique est plus élevée, et qu'une petite diminution du courant du filament réduit en proportion beaucoup plus grande la puissance mise en jeu par la lampe elle-même. Le rhéostat de chauffage Y permet de régler le courant dans le filament pour toute valeur de la tension appliquée au primaire du transformateur T_f . Le condensateur G, de 0,004 μ F est un condensateur d'arrêt pour les courants à basse fréquence et de « by-pass » pour ceux à haute fréquence ; il sert donc comme protection du secondaire du transformateur T contre ces derniers. A est l'inductance de couplage entre le circuit de grille et le circuit anodique. La puissance sur l'antenne, qui a une résistance apparente entre 8 et 15 ohms, est de 200 w ; la longueur d'onde est de 200 m, mais l'on peut réaliser facilement les longueurs d'onde comprises entre 500 et 1 000 m. La puissance oscillante dans l'antenne, dans l'intervalle de longueurs d'onde considéré, est limité par deux facteurs : la capacité électrostatique entre les éléments de la lampe qui shunte le circuit oscillant, et la relation, à peu près linéaire,

entre la puissance mise en jeu et le rapport $\frac{L}{RC}$ entre les constantes de l'antenne.

Les données expérimentales de fonctionnement de l'appareil résultent du tableau suivant :

| LONGUEUR D'ONDE en mètres | PUISSANCE DÉVELOPPÉE PAR L'ALTERNATEUR en watts | COURANT DE CHAUFFAGE DU FILAMENT en ampères | COURANT DANS L'ANTENNE en ampères | PUISSANCE DANS L'ANTENNE en watts | RENDEMENT GLOBAL DE L'APPAREIL pour 100 |
|------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 600 | 1 000 | 3,5 | 5,1 | 286 | 35 |
| 525 | 1 300 | 3,5 | 5,0 | 275 | 21 |
| 480 | 1 120 | 3,5 | 4,0 | 176 | 15,7 |
| 420 | 1 100 | 3,5 | 2,9 | 93 | 8,5 |

Les avantages de ce type d'émetteur, sur l'émetteur ordinaire à lampes, sont les suivants :

1° Il ne nécessite pas la présence d'un générateur ou d'une batterie d'alimentation à haute tension ;

2° Il donne un rendement total meilleur ;

3° Pour les distances pas trop grandes, il permet la réception des signaux avec un simple détecteur à cristaux.

En comparaison d'un émetteur ordinaire à étincelles, il rayonne de l'énergie presque exclusivement sur une fréquence unique, tandis que les trains d'onde amortis, rayonnés par un émetteur à étincelles, ont un grand nombre d'harmoniques, avec une mauvaise utilisation de la puissance rayonnée, puisque le récepteur est en résonance pour la seule fréquence fondamentale.

L'auteur reproduit aussi un oscillogramme du courant d'antenne produit par l'appareil émetteur décrit (fig. 2) ; cet oscillogramme réduit à une échelle convenable a été obtenu au moyen d'un oscillographe à rayons cathodiques. L'examen de cet oscillogramme montre que la variation d'amplitude du courant dans l'antenne n'est pas du tout sinusoidale ; il montre également que les trains d'onde persistent avec l'amortissement propre de l'antenne, après que la valve a cessé de l'exciter. Des essais comparatifs expérimentaux ont aussi permis de conclure qu'une diminution de la tension anodique ou du courant de chauffage réduit la valeur

de l'ordonnée maximum de la seconde moitié du train d'ondes ; au contraire une émission plus grande d'électrons par le filament ou un couplage plus serré entre l'antenne et

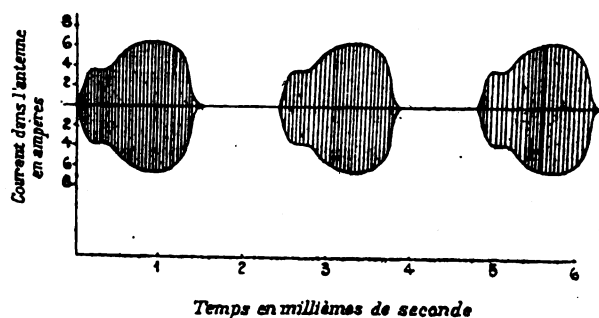


Fig. 2.

le circuit anodique augmentent cette valeur, sans que varie l'amplitude du premier groupe d'oscillations. En aucun cas il ne fut possible d'obtenir de la lampe un maximum de courant sur l'antenne correspondant à la tension anodique maximum ; il fut également impossible de donner à l'oscillogramme des courants d'antenne une forme sinusoidale. — G. M.

Détermination des grandeurs caractéristiques des circuits parcourus par des courants alternatifs à l'aide d'une méthode semi-analytique, semi-géométrique ⁽¹⁾.

Cette méthode, d'introduction récente dans la technique, a été déjà exposée en détail par l'auteur dans des brochures publiées en librairie ou dans des articles publiés dans l'« Elektrotechnische Zeitschrift ». Elle est étudiée, ici, avec moins de longueur, mais plus systématiquement, de manière à faire connaître, d'abord, les principes sur lesquels elle est fondée et à donner, ensuite, par quelques exemples typiques une idée des applications variées dont elle est susceptible.

Elle se distingue, avant tout, par sa simplicité de mise en œuvre ; mais elle tire son originalité propre du fait que, pour établir les équations usuelles reliant entre elles les grandeurs caractéristiques de circuits donnés, les résistances apparentes sont représentées par un rapport entre un vecteur tension et un vecteur intensité.

Pour fixer les idées, supposons qu'une résistance apparente H (qui peut être constituée, dans le cas général, par un élément purement ohmique et être douée, en même temps, d'inductance et de capacité) soit soumise successivement à l'action des deux tensions E et e ; il en résulte des courants d'intensité I et i (fig. 1) et l'on a $\frac{E}{I} = \frac{e}{i}$.

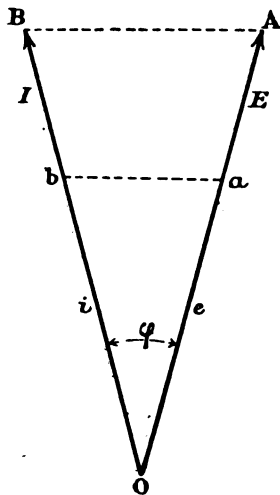


Fig. 1.

Un tel rapport de vecteurs n'est ni un vecteur ni un scalaire ; on doit le considérer comme une grandeur nouvelle, caractérisée par deux valeurs distinctes correspondant l'une au rapport entre les valeurs effectives de la tension et de l'intensité, l'autre à l'angle du déphasage entre les vecteurs corrélatifs.

Supposons maintenant qu'une résistance apparente donnée sous la forme d'un rapport de vecteurs $\frac{E}{I}$ soit branchée sur un circuit sur lequel règne la tension e ; le courant $i = I \frac{e}{E}$, qui en résulte, peut être obtenu en grandeur et en direction suivant le mécanisme indiqué figure 2, en déplaçant le triangle OAB de manière à amener les vecteurs Oa et Oa à

coïncider en direction, et en menant ensuite par a la parallèle à AB ; $i = Ob$ est l'intensité cherchée. Cette construction donne la solution du problème de la multiplication d'un vecteur I par un rapport de vecteurs $\frac{e}{E}$; elle représente, en même temps, l'opération fondamentale permettant, en conjonction avec la composition et la décomposition des vec-

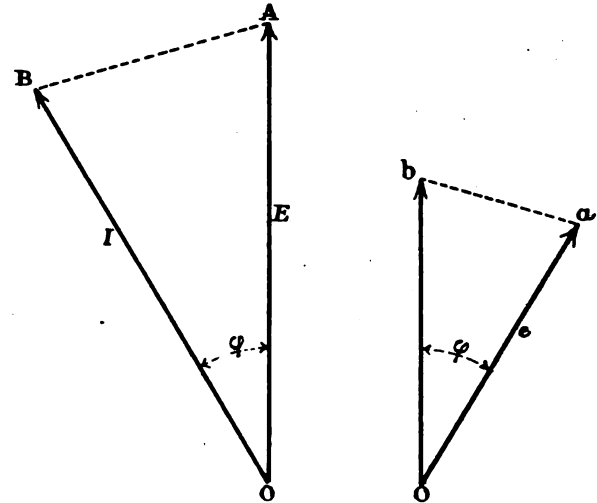


Fig. 2.

teurs, de tirer des équations obtenues par l'analyse, les valeurs des différentes inconnues qu'elles contiennent.

Comme exemples typiques d'application de la méthode, l'auteur étudie successivement le cas d'un circuit triphasé en étoile avec phases inégalement chargées et d'un réseau composé par cinq résistances reliées entre elles de manière à présenter deux nœuds de branchement, les trois extrémités libres étant soumises à l'action d'un système triphasé connecté en triangle. A l'occasion de la discussion de ce dernier problème, il montre que le procédé permet de suivre avec facilité les déformations des diagrammes représentatifs des grandeurs envisagées lorsqu'on fait varier l'une quelconque d'entre elles. Dans le même ordre d'idées, il prouve qu'il est possible de conclure, à la seule inspection des équations, qui présentent, dans ce cas, une forme caractéristique, à l'existence de diagrammes du genre circulaire. Cet avantage particulier de la méthode est mis par lui à profit pour étudier la loi des variations des courants absorbés dans un circuit triphasé à phases inégalement chargées, les appareils récepteurs étant constitués, sur deux phases, par des capacités de valeur constante, et, sur la troisième phase, par une capacité de même valeur, shuntée par une résistance non inductive de grandeur variable.

La méthode, au reste, trouve son application, non seulement dans les problèmes contenant comme données ou inconnues des tensions ou des intensités, mais encore dans ceux où interviennent les puissances. A ce sujet, l'auteur, se référant pour plus de détails à une brochure publiée antérieurement, examine les deux cas suivants : circuit triphasé dont la charge de l'une des phases subit, soit une variation infiniment petite, soit une variation de grandeur finie, ou vient à être instantanément supprimée ; circuit triphasé dans lequel les tensions appliquées varient, les résistances des appareils récepteurs conservant une valeur constante ; il en déduit, dans chaque cas, la loi régissant la variation de la puissance absorbée par le système. — L. D.

(1) FF. NATALIS, *Elektrotechnik und Maschinenbau*, 16 octobre 1921, t. XXXIX, p. 510-516, 7 000 mots, 16 fig., 1 tab.

SECTION INDUSTRIELLE

Contribution à l'étude de la répartition de la tension sur les chaînes d'isolateurs

Dispositif pour l'amélioration de cette répartition

L'auteur donne tout d'abord un exposé de la méthode du voltmètre à indication constante, méthode qui a été celle employée au cours des différents essais décrits dans l'article. Il montre, ensuite, que les résultats obtenus jusqu'ici pour la tension supportée par les éléments d'une chaîne d'isolateurs diffèrent généralement les uns des autres, parce qu'ils ont été exécutés dans des conditions très différentes. Il détermine l'influence, sur la répartition de cette tension, de la distance de l'extrémité de la chaîne au sol, du lieu où les mesures sont faites, de la position du fil qui alimente la chaîne, de l'état de l'atmosphère et il en tire la conclusion que des mesures de répartition ne peuvent être utiles que si elles sont exécutées en se rapprochant autant que possible des conditions normales de service des chaînes d'isolateurs. Il termine en indiquant un nouveau dispositif qui améliore la répartition de la tension dans la chaîne et qui consiste en un fil conducteur reliant les armatures des premiers éléments des diverses chaînes. Les essais décrits dans l'article ont été conduits par M. Champ, ingénieur à la Compagnie électrique de la Loire et du Centre, à Saint-Etienne. La démonstration théorique de l'influence, sur la répartition, de la distance de l'extrémité de la chaîne au sol, est due à M. Cabanes, ingénieur à la même Compagnie⁽¹⁾.

Introduction. — Dans l'isolation des lignes à haute tension, la chaîne d'isolateurs a remplacé l'isolateur rigide pour de multiples raisons bien connues. On sait que la tension ne se répartit pas également entre les éléments de la chaîne; plusieurs auteurs en ont donné la raison.

Cette répartition de la tension a été étudiée au moyen de deux méthodes; la méthode de l'éclateur et celle du potentiomètre, les résultats obtenus dans les divers laboratoires et avec ces deux méthodes varient de 30 pour 100 à 55 pour 100 pour le premier élément de la chaîne. Nous avons essayé de montrer le pourquoi de ces variations et, pour cela, nous avons employé la méthode dite du « voltmètre à indication constante » qui comporte les opérations suivantes :

On relie la borne isolée du voltmètre à l'armature

dont on veut avoir le potentiel; la borne de la cage est branchée tout d'abord à la terre; on met la chaîne sous tension et l'on augmente cette dernière jusqu'à ce que l'aiguille du voltmètre indique V_1 volts (V_1 est une tension que l'on choisit); soit alors V la tension appliquée à la chaîne; on branche ensuite la borne de la cage à la ligne (le voltmètre est isolé de la terre); on met à nouveau la chaîne sous tension jusqu'à ce que le voltmètre indique la même tension V_1 , soit alors V' la tension appliquée à la chaîne.

Le pourcentage de la tension sur les éléments compris entre l'armature considérée et la ligne est

$$p \text{ pour } 100 = 100 \frac{V}{V + V'}$$

Nous avons employé cette méthode de préférence aux autres (qui sont des méthodes de laboratoire) parce qu'elle est d'une application plus facile en dehors du laboratoire et, en particulier, pour la mesure de la répartition sur une chaîne placée sur une ligne d'essai, comme nous avons été conduits à le faire.

Remarque I. — Il est facile de voir que, pour la deuxième lecture, il faut brancher la cage à la ligne, car la capacité de cette dernière par rapport à la terre est alors branchée entre ligne et terre et n'a pas d'influence sur la répartition.

Remarque II. — Dans l'application de cette méthode, on suppose que la répartition ne varie pas avec la tension; en réalité, il n'en est rien, surtout dès que la tension appliquée à la chaîne dépasse 50 000 v; aussi les résultats donnés ci-dessous sont trop forts pour

⁽¹⁾ Au sujet de la répartition de la tension sur les chaînes d'isolateurs, nous rappellerons, à titre documentaire, les études suivantes, parues dans la *R. G. E.* :

Détermination expérimentale de la répartition de la tension sur les chaînes d'isolateurs; Ch. DACHARY et Paul de la GORCE. *R. G. E.*, 3 juillet 1920, t. VIII, p. 7 D.

Répartition des tensions dans une chaîne d'isolateurs. *R. G. E.*, 13 novembre 1920, t. VIII, p. 666.

Contribution à la théorie des isolateurs pour haute tension; SCHWAIGER. *R. G. E.*, 22 janvier 1921, t. IX, p. 27 D.

Caractéristiques électriques de l'isolateur de suspension; F.-W. PEEK jr. *R. G. E.*, 9 et 16 avril 1921, t. X, p. 495 et 534.

Les chaînes d'isolateurs de suspension de divers types. BUSKE FRANZ. *R. G. E.*, 10 septembre 1921, t. X, p. 74 D.

Essais d'isolateurs pour lignes à 220 000 v; H.-J. RYAN, H.-H. HENLINE et F.-F. EVENSON. *R. G. E.*, 7 janvier 1922, t. XI, p. 7 D.

Essais sur les isolateurs à suspension; A. FONTVIELLE. *R. G. E.*, 29 octobre 1921, t. X, p. 599. — N. D. L. R.

70 000 v entre ligne et terre; au lieu de 63 pour 100 donnés pour la ligne d'essai de la Rivière, il faut tabler, pour la tension simple de service de 70 000 v, sur 56 à 57 pour 100 d'après les essais faits ultérieurement au laboratoire.

Influence de la distance de l'extrémité de la chaîne à la terre. — On peut montrer théoriquement cette influence. Considérons pour cela un système de n conducteurs C_1, C_2, \dots, C_n , situés dans un même plan vertical (fig. 1).

Désignons par $R_{11}, R_{22}, \dots, R_{nn}$, les rayons des n con-

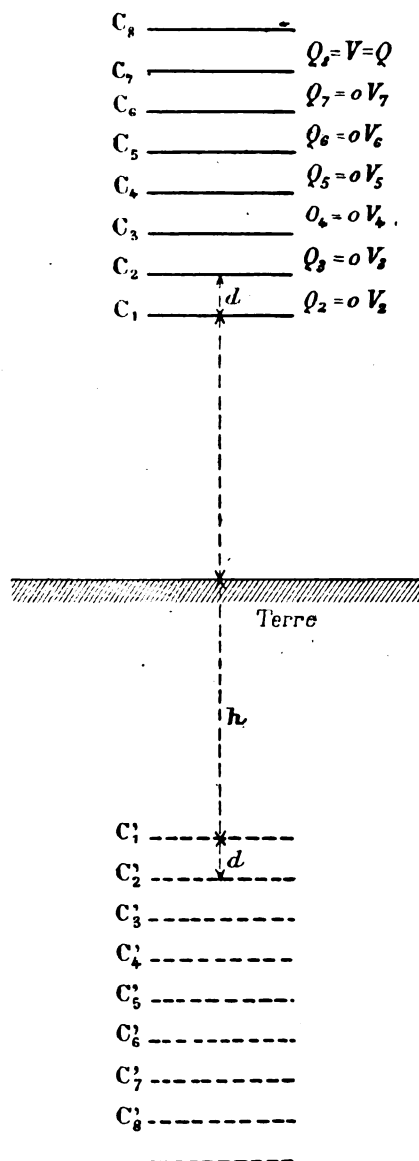


Fig. 1.

ducteurs; par V_1, V_2, \dots, V_n les potentiels (au temps t) de ces conducteurs; par Q_1, Q_2, \dots, Q_n leurs charges (au

temps t); par R_{mn} la distance entre le centre du conducteur de rang m et le centre du conducteur de rang n ; par D_{mn} la distance entre le centre du conducteur m et le centre de l'image du conducteur n .

Les équations de Maxwell, qui lient les potentiels aux charges de ces conducteurs sont les suivantes: ⁽¹⁾

$$V_1 = 2 Q_1 \log \frac{D_{11}}{R_{11}} + 2 Q_2 \log \frac{D_{12}}{R_{12}} + \dots + 2 Q_n \log \frac{D_{1n}}{R_{1n}}.$$

$$V_n = 2 Q_1 \log \frac{D_{n1}}{R_{n1}} + 2 Q_2 \log \frac{D_{n2}}{R_{n2}} + \dots + 2 Q_n \log \frac{D_{nn}}{R_{nn}}.$$

Supposons que le conducteur C_1 soit un conducteur d'une ligne sous tension dont le potentiel est V_1 , que C_n soit mis à la terre, et que les conducteurs C_2, C_3, \dots, C_{n-1} , soient isolés.

En se rappelant que dans les équations de Maxwell:

1° Un conducteur d'une ligne sous tension est caractérisé par un potentiel V et une charge Q ;

2° Un fil mis à la terre est caractérisé par un potentiel nul $V = 0$ et une charge Q ;

3° Un fil isolé est caractérisé par une charge nulle $Q = 0$ et un potentiel V .

Les équations précédentes deviennent

$$(1) \quad V_1 = 2 Q_1 \log \frac{D_{11}}{R_{11}} + 2 Q_n \log \frac{D_{1n}}{R_{1n}}.$$

$$(n) \quad V_n = 2 Q_1 \log \frac{D_{n1}}{R_{n1}} + 2 Q_n \log \frac{D_{nn}}{R_{nn}} = 0.$$

Nous avons un système de n équations linéaires du premier degré à n inconnues $V_2, V_3, \dots, V_{n-1}, Q_1, Q_n$ que nous pouvons par conséquent résoudre. Cherchons par exemple la valeur du potentiel V_2 du conducteur C_2 ; on trouve facilement, au moyen de (1), (2) et (n), la relation

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\log \frac{D_{21}}{R_{21}} - \frac{\log \frac{D_{n1}}{R_{n1}}}{\log \frac{D_{nn}}{R_{nn}}} \times \log \frac{D_{2n}}{R_{2n}}}{\log \frac{D_{11}}{R_{11}} - \frac{\log \frac{D_{n1}}{R_{n1}}}{\log \frac{D_{nn}}{R_{nn}}} \times \log \frac{D_{1n}}{R_{1n}}}.$$

Considérons un système de huit conducteurs ($n = 8$) dans un même plan vertical, équidistants: soit d leur écartement et soit h la hauteur du fil de ligne (conduc-

(1) C. LE ROY. *Transports de force*, II^e partie, pages 6 et 7.

teur C_1) au-dessus du sol; l'équation précédente devient

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\log \frac{2h+d}{d} - \frac{\log \frac{2h+7d}{7d}}{\log \frac{2h+14d}{R_{ss}}} \log \frac{2h+8d}{6d}}{\log \frac{2h}{R_{11}} - \frac{\log \frac{2h+7d}{7d}}{\log \frac{1h+14d}{R_{ss}}} \log \frac{2h+7d}{7d}}$$

Considérons les deux cas suivants :

1° Conducteur C_1 à une distance $h = 11$ m du sol; $d = 30$ cm; $R_{11} = 0,65$ cm et $R_{ss} = 1$ pour simplifier les calculs.

Nous trouvons

$$\frac{V_2}{V_1} = 0,474,$$

d'où

$$\frac{V_1 - V_2}{V_1} = 0,526.$$

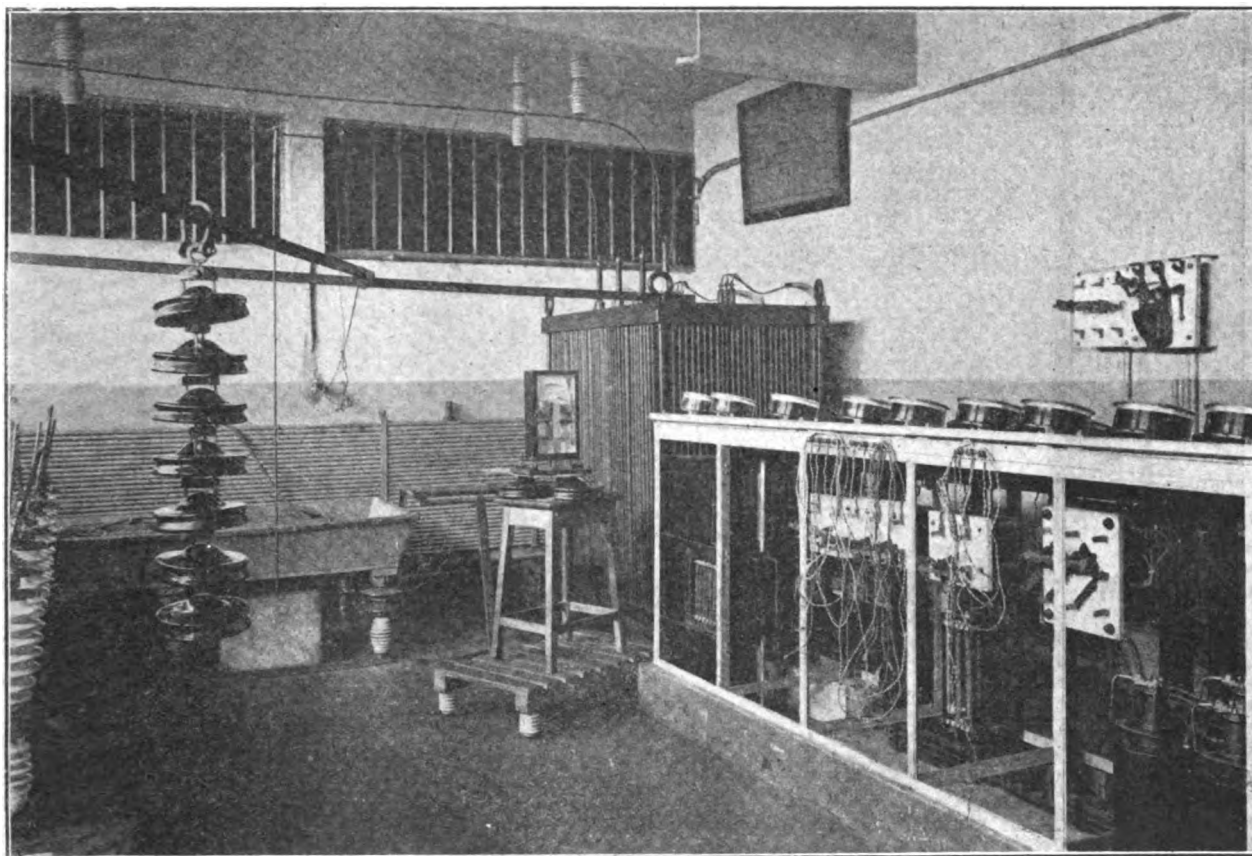


Fig. 2. — Essais au laboratoire d'une chaîne d'isolateurs.

La différence de tension entre les deux conducteurs C_1 et C_2 est 52,6 pour 100 de la différence de la tension totale V_1 entre C_1 et C_8 .

2° Conducteur C_1 à une distance $h = 0,50$ m du sol, les autres grandeurs restant les mêmes

$$\frac{V_2}{V_1} = 0,274 \quad \text{d'où} \quad \frac{V_1 - V_2}{V_1} = 0,724.$$

La différence de tension entre les conducteurs C_1 et C_2 est maintenant 72,4 pour 100 de la tension totale entre C_1 et C_8 . Le fait de rapprocher les conducteurs de la terre a donc suffi pour modifier complètement la répartition des potentiels sur les conducteurs, augmen-

tant en particulier de 20 pour 100 la différence de potentiel des conducteurs C_1 et C_2 .

Or, une chaîne d'isolateurs qui soutient un câble de la ligne peut être décomposée de la façon suivante :

- 1° Un conducteur sous tension : le câble de la ligne ;
- 2° Des conducteurs équidistants (les armatures) isolés (par des disques de porcelaine) ;
- 3° Un conducteur à la terre : la dernière armature reliée au pylône.

Nous aurons donc sur cette chaîne une répartition semblable à celle trouvée pour les conducteurs ; par suite, nous pouvons dire que la répartition changera suivant que la chaîne sera près ou loin de la terre ; la tension supportée par le premier élément de porcelaine

sera d'autant plus élevée, que la chaîne sera plus près de la terre.

L'expérience confirme nettement ces prévisions de la théorie : au moyen de la méthode du voltmètre à indication constante, nous avons trouvé à l'air libre.

| | m | pour 100 | |
|---------------------------------------|------|---------------------------------------|----|
| Extrémité de la chaîne à 0,50 du sol, | | 79,50 sur le 1 ^{er} élément. | |
| id | 2,50 | 76,5 | id |
| id | 4,50 | 74 | id |
| id | 6,50 | 73 | id |
| id | 11 | 63 | id |

Des essais faits au laboratoire (fig. 2), avec extrémité de la chaîne à 0,50 m de la terre, les appareils étant disposés comme à l'air libre, ont donné environ 45 pour 100 au lieu de 79,5 pour 100 à l'air libre ; on voit ainsi l'influence du lieu où se font les essais, et on peut penser que l'influence des murs et du plafond de l'enceinte fermée que forme le laboratoire compense dans une certaine mesure celle du sol.

Influence du fil d'alimentation de la chaîne. — Nous avons alimenté la chaîne par un fil parallèle à la

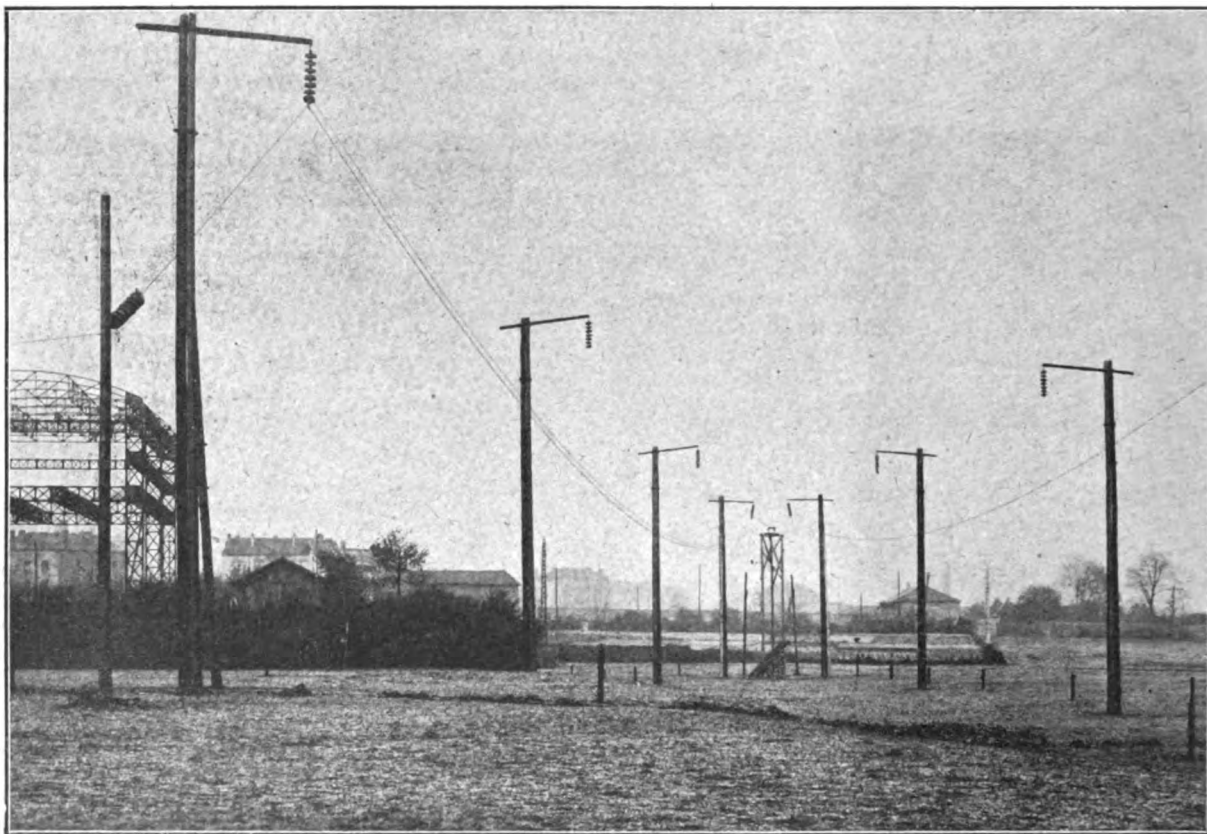


Fig. 3. — Ligne pour essais à l'extérieur.

chaîne et qui pouvait être placé à des distances différentes et nous avons obtenu les résultats suivants :

| Distance du fil d'alimentation en cuivre de 0,4 mm, à la chaîne. | Tension sur le 1 ^{er} élément. |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 0,25 m | 47,2 pour 100 |
| 0,50 m | 50,1 id |
| 1 m | 51,3 id |
| 2 m | 52 id |

Il semble résulter, de l'examen de la courbe qui représente ce phénomène, qu'à partir d'une certaine distance, ici légèrement supérieure à 2 m, le fil d'alimentation n'a plus d'influence sur la répartition.

Influence du voisinage des appareils de mesure. — Les appareils de mesure (voltmètre, potentiomètre) agissent comme le fil d'alimentation :

| Distance du voltmètre à la chaîne. | Tension sur le 1 ^{er} élément. |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|
| 0,50 m | 46 pour 100 |
| 1 m | 53 id |
| 1,50 m | 58 id |
| 2 m | 62 id |

La distance à laquelle cette influence n'est presque plus sensible est, dans ce cas, d'environ 3 m.

A ces variations en fonction de ces divers éléments, il faut ajouter les variations avec l'état de l'atmosphère qui sont assez sensibles.

Conclusions que l'on peut tirer des essais précédents. — On peut donc dire que tous les essais ne seront significatifs que si l'on effectue les mesures sur une chaîne placée dans des conditions normales de service, en éloignant autant que possible tous les conducteurs et les appareils de mesure.

Des essais comparatifs devront toujours être faits sans rien changer aux corps avoisinants et dans le plus court laps de temps possible.

Résultats obtenus sur la ligne d'essai du poste de la Rivière, près Saint-Etienne. — Ainsi, nous avons été conduits à construire la ligne d'essai représentée en figure 3, pour savoir à peu près dans quelles conditions fonctionneront les chaînes d'isolateurs sur la ligne Beaumont, Montoux, Saint-Etienne.

Nous avons trouvé que la répartition de la tension ne dépendait pas de la longueur de la portée et du nombre de portées ; comme valeur moyenne, nous avons trouvé sur le premier élément 63 pour 100 de la tension totale appliquée à la chaîne.

En munissant les chaînes d'un bouclier, nous avons ramené ce pourcentage à 51 pour 100, soit donc une amélioration de 12 pour 100 qui est introduite par le bouclier. (A noter, qu'au laboratoire l'amélioration donnée par le bouclier était de 16 pour 100 environ.)

Nouvelle méthode pour diminuer la tension supportée par le premier élément. — La méthode consiste à relier les premières armatures des chaînes par un fil ou câble métallique, que nous appellerons « fil d'équilibre » (fig. 4).

Les mesures de répartition ont été faites avec un fil d'équilibre constitué par un câble de cuivre de 25 mm²

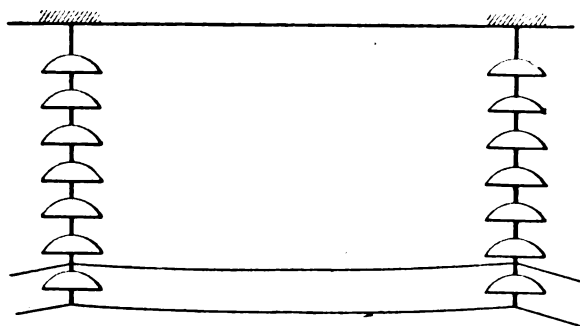


Fig. 4. — Vue schématique du dispositif adopté pour diminuer la tension supportée par le premier élément de la chaîne d'isolateur.

de section. Nous résumons ci-dessous les principaux résultats :

1° Le nombre de portées avec fil d'équilibre n'influe pas sur la répartition ;

2° La longueur de la portée avec fil d'équilibre, n'a, sans doute, pas d'influence sensible à partir d'une certaine limite sur la répartition du potentiel ;

3° La tension moyenne supportée par le premier élément est de 46 pour 100. L'amélioration introduite par le fil d'équilibre est donc de 17 pour 100 environ pour

le premier élément. A la tension de 70 000 v entre ligne et terre ce pourcentage serait environ de 39 à 40 pour 100.

Le fil d'équilibre pourrait de plus jouer un rôle important ; constitué par un câble d'acier, il pourrait servir de câble porteur et permettrait d'augmenter la longueur des portées tout en employant un métal très ductile, tel que l'aluminium pur, ce qui présenterait, peut être, des avantages sur l'emploi de l'aluminium-acier.

En interposant, au milieu de la portée, des isolateurs branchés entre le fil d'équilibre et la ligne, on améliore encore la répartition.

On peut, enfin, à l'aide du fil d'équilibre, régler à volonté la tension supportée par le premier élément ; il suffit de brancher à l'usine génératrice, par exemple, une impédance (résistance, condensateur, ou tout autre système), dont on déterminerait la valeur expérimentalement, entre le fil d'équilibre et le câble de la ligne ; suivant la valeur de la résistance, par exemple, tous les premiers éléments (qui sont reliés par le fil d'équilibre) seraient shuntés plus ou moins, et la tension qu'ils supporteraient pourrait varier à volonté.

Ce procédé permettrait d'augmenter la tension d'une ligne munie d'un fil d'équilibre, sans ajouter de nouveaux isolateurs sur les chaînes ; pour cela, il suffirait de changer la valeur de la résistance, de façon à diminuer le pourcentage de la tension sur le premier élément. De même l'adjonction d'un fil d'équilibre à une ligne fonctionnant actuellement à 150 000 v permettrait, sans autre modification, de la faire fonctionner à 220 000 v avec un coefficient de sécurité au moins aussi grand.

Ce procédé nous paraît préférable à ceux qui consistent à adopter un appareil d'amélioration sur chaque chaîne ; la résistance, ou le condensateur, peuvent être placés à l'usine génératrice ou réceptrice, ou dans les deux, ou encore dans des postes intermédiaires ; par conséquent, ils peuvent toujours être surveillés et réglés à volonté ; ils sont, de plus, incomparablement moins exposés que les systèmes placés sur les chaînes et moins susceptibles de causer des avaries.

En outre, le fil d'équilibre, shunté par une résistance ou tout autre système équivalent, aura pour effet d'améliorer la transmission de plusieurs façons.

1° Un amortissement précieux sera produit par la résistance shuntant le premier élément, et par la capacité de l'ensemble : ligne, fil d'équilibre, qui aura pour effet d'absorber dans une certaine mesure l'énergie mise en jeu par les surtensions au moment de leur formation, pour la restituer ensuite, sous forme d'ondes moins dangereuses pour le système de transmission.

2° La capacité de la ligne se trouvant augmentée dans une certaine mesure, il en résultera une économie des moteurs synchrones qui sont nécessaires pour l'amélioration du facteur de puissance du réseau, ou pour la régulation de la tension.

G. VIEL,

Directeur de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre.

Le coffret de manœuvre, appareil industriel

Après avoir fait ressortir les avantages du coffret de manœuvre sur le tableau de distribution, l'auteur discute, d'un point de vue général, les qualités qu'il doit posséder pour répondre aux exigences du service qui lui est demandé. Il termine par la description de quelques appareils de construction moderne.

1. Généralités sur les coffrets de manœuvre.

— L'adoption, chaque jour plus étendue, de la commande individuelle des machines-outils, des métiers et appareils de toutes catégories par moteur électrique et plus particulièrement par moteur d'induction, tend à faire disparaître pour les machines motrices les panneaux de commande autrefois adoptés.

C'est qu'en effet, si un tableau constitue dans une station centrale un organe de manœuvre tout à fait rationnel, il n'en est pas de même dans un atelier où son encombrement présente un premier inconvénient auquel il y a lieu d'ajouter les difficultés d'entretien, le manque de protection contre les avaries mécaniques, l'impossibilité de prévenir des contacts accidentels avec des appareils sous tension. Enfin, la crainte de fausses manœuvres, qui peuvent être cause de désordres graves dans une installation, nécessite pour la commande des tableaux l'emploi d'un personnel initié.

Le coffret de manœuvre, au contraire, peut être mis entre toutes les mains. Un système de verrouillage empêche l'ouverture de la porte de visite tant que l'appareil est sous tension, rendant impossible la manipulation d'éléments parcourus par le courant tant que celui-ci n'est pas coupé (fig. 1). Les organes de

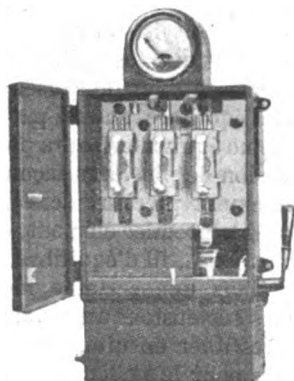


Fig. 1. — Coffret de manœuvre « Charles Maier ». Schaffhouse (Suisse).

branchement enfermés dans une boîte, généralement en fonte, se trouvent à l'abri de toutes détériorations accidentelles, et les poussières pénétrant difficilement, l'entretien se réduit au graissage du dispositif de com-

mande et à la vérification du bon état des contacts mobiles et fixes. Enfin, la construction ramassée du coffret de manœuvre en fait un appareil d'un faible encombrement.

Prévu pour de multiples services, le coffret était d'un emploi généralisé dès avant la guerre dans beaucoup de pays où l'industrie électrique avait pris un essor considérable, en Suisse notamment. Il s'est trouvé rendu obligatoire en Angleterre, dans un certain nombre de cas, en particulier dans les mines ⁽¹⁾.

En France, dès leur apparition, les coffrets de manœuvre soulevèrent de nombreuses objections et il leur fut reproché la mauvaise qualité de leurs contacts, l'insuffisance de leurs qualités diélectriques, et, dans certains cas, leur difficulté de surveillance, en ce qui concerne les organes de branchement. En appareillage, la technique est relativement peu étendue; c'est l'expérience des dispositifs de construction qui fait toute la valeur pratique des appareils. Si les dimensions essentielles des pièces de base sont soumises à un calcul précis, les formes et dispositions particulières ne peuvent être consacrées que par l'usage, et une construction rationnelle n'est entreprise que lorsque les éléments constitutifs des appareils ont tous donné, séparément, des garanties contrôlées par des essais répétés. Actuellement l'expérience acquise par un certain nombre de constructeurs dans cette fabrication, expérience accrue de tous les enseignements tirés, aux cours des années de guerre, de la création de nombreuses installations, leur a permis de présenter à leur clientèle des coffrets de manœuvre qui, exempts des défauts précédemment signalés, constituent de par leur robustesse des appareils vraiment industriels.

En date du 15 avril 1920, la Chambre syndicale des Constructeurs de gros Matériel électrique a édité des « Règles de normalisation pour le gros Appareillage ». Ces règles font actuellement l'objet, dans les comités techniques intersyndicaux, d'études approfondies, et sont appelées à subir un certain nombre de modifications avant l'apparition d'une édition définitive. En ce qui concerne les coffrets de manœuvre, nous pouvons donner dans les grandes lignes et en restant, au point de vue des échauffements, dans l'esprit des règles françaises d'unification du matériel électrique, quelques-unes des conditions de réception acceptées actuel-

⁽¹⁾ Voir à ce sujet l'édition avril 1921 du « Coal Mines Act 1911 » donnant les règles générales sur l'installation et l'emploi de l'énergie électrique.

lement par un certain nombre de constructeurs.

La limite d'échauffement admise, au-dessus de la température ambiante, pour les contacts est de 60°C , et cette limite peut être réduite lorsque les organes de contacts forment ressort. D'autre part, la tension d'épreuve à appliquer dans les essais diélectriques, entre chaque élément de circuit et tous les autres reliés entre eux et à la masse des appareils, a été prise égale à 2 100 v pour les appareils dont la tension d'utilisation U est inférieure à 550 v et à $2U + 1\,000$ v pour les autres.

Quant au pouvoir de rupture des interrupteurs, on admet qu'il doit être tel qu'ils puissent couper, sous leur tension de service, le courant le plus élevé de leur service normal; mais on ne doit pas perdre de vue, lors des essais de rupture, que, dans les circuits comportant de la self-induction, l'arc devient d'autant plus considérable que la rupture entraîne une surtension. Enfin, dans certains cas, il est exigé que les appareils de branchement soient en mesure de couper un courant de court-circuit correspondant à trois fois l'intensité du courant normal pour lequel est prévu l'appareil, et cela sans que les contacts principaux puissent être endommagés, les détériorations constatées devant se limiter aux pare-étincelles.

La caractéristique principale des coffrets de manœuvre, comme pour tous les appareils de branchement, est leur puissance d'interruption au pouvoir de rupture, et nous distinguerons dans une étude succincte les appareils de faibles puissances très généralement à rupture dans l'air, de ceux de moyennes puissances et grandes puissances toujours du type à bain d'huile.

II. Coffrets de manœuvre de faibles puissances à ruptures dans l'air. — Nous ne parlerons que des types les plus courants, c'est-à-dire de ceux comportant un simple interrupteur et des courts-circuits fusibles, les éléments constitutifs de ces appareils entrant dans l'établissement de la majorité des coffrets de manœuvre.

Le métal généralement adopté pour les enveloppes est la fonte, quoique pour les petits modèles on ait souvent pensé à utiliser la tôle ou l'aluminium afin d'en réduire le poids.

Les dispositifs de verrouillage pour être efficaces sont robustes et doivent avoir pour effet de ne pas plus permettre la fermeture de l'interrupteur lorsque le couvercle est ouvert, que l'ouverture de ce dernier lorsque l'interrupteur est sous tension.

Afin d'éviter dans la manœuvre des tâtonnements qui nuiraient à la bonne conservation des contacts, les diverses positions du dispositif de commande sont généralement bien déterminées, et une came d'arrêt, montée à l'intérieur du coffret, a pour office de maintenir l'appareil de branchement dans les positions correspondantes.

Dans la plupart des coffrets de manœuvre, et en vue de la réduction de l'étincelle de rupture, la rupture est

double et brusque, un ressort agissant avec force sur l'arbre de commande.

Ce sont les contacts proprement dits qui ont fait l'objet des études les plus nombreuses et, actuellement, deux tendances sont accusées suivant la prédominance donnée à l'un de leurs deux facteurs d'établissement : pression ou surface.

Dans le premier cas, un commutateur dont l'exécution est basée sur les principes constructifs d'un contrôleur est généralement adopté (fig. 2). Des segments

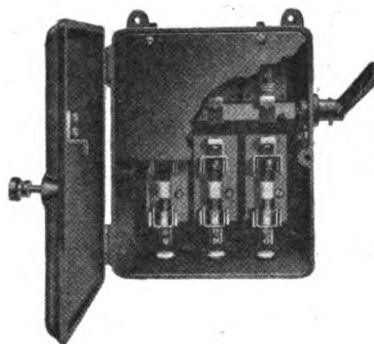


Fig. 2. — Coffret « C.E.M. ». Interrupteur à rupture dans l'air. Contact contrôleur.

de contact en cuivre dur sont fixés sur l'arbre isolé du commutateur; ils forment connexion avec des doigts de contact à ressort en acier et cuivre montés sur le même socle que les fusibles et les bornes de connexion du réseau. Le contact s'établit généralement suivant une ligne et l'on compte, la réaction du dispositif assurant le contact étant de 1 à 2 kg : cm linéaire de contact, que le courant admissible varie de 30 à 50 A : cm². On dispose, le cas échéant, de plusieurs contacts en

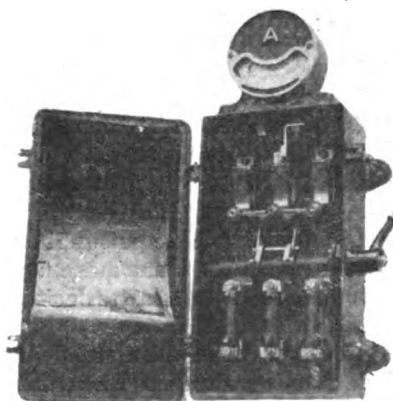


Fig. 3. — Coffret « Nauroy ». Interrupteur à rupture dans l'air. Contact type « Balai ».

parallèle par phase, mais on doit se limiter avec cette disposition à 200 A.

La seconde tendance conduit à adopter, même pour les faibles puissances, des interrupteurs à balais munis ou non de pare-étincelles (fig. 3). Cette disposi-

tion, d'un prix de revient plus élevé, présente de réels avantages au point de vue électrique. On admet, avec des contacts de ce genre à lames multiples, une densité de courant de 20 à 30 A : cm² suivant la pression réalisée.

Nous signalerons, enfin, un appareil entrant dans cette dernière catégorie et présentant un certain nombre de particularités de construction. C'est celui qui est représenté sur la figure 4. Les contacts fixes,

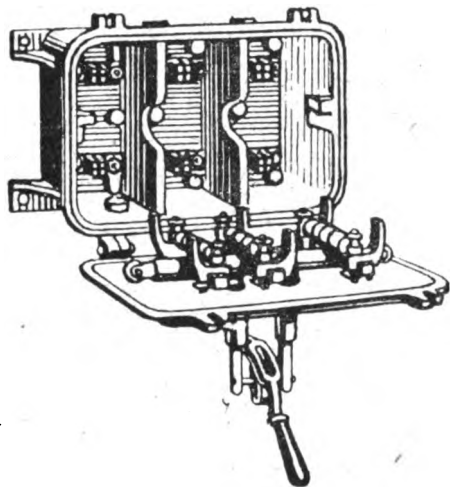


Fig. 4. — Coffret « Metropolitan-Vickers » Interrupteur à rupture dans l'air.

du type à mâchoires, sont constitués par des lames flexibles fixées sur des socles en porcelaine. L'intérieur du couvercle porte la partie mobile de l'interrupteur qui, montée sur des barres d'acier isolées au mica, est maintenue par des brides également en acier. Les interrupteurs ne sont pas du type à couteau proprement dit, la liaison entre les mâchoires supérieures et les mâchoires inférieures étant faite par les fusibles. Ceux-ci, du type à cartouche, se trouvant donc portés par le couvercle, on est certain en remplaçant un fusible de ne pas toucher une connexion sous tension. Le fonctionnement est assuré par deux coulisseaux montés sur le couvercle même du coffret et commandés par le jeu d'une manette. Au point de vue verrouillage, aucun ennui n'est à craindre puisqu'il est impossible de fermer l'interrupteur d'une autre façon qu'en fermant le couvercle, celui portant les fusibles et les lames pénétrant dans les mâchoires.

Nous avons procédé à un examen rapide du coffret de manœuvre de faibles puissances suivant sa constitution la plus simple ; il nous semble utile de rappeler que l'on peut prévoir tout autre mode de branchement, à deux temps ou pour démarrage étoile-triangle des moteurs d'induction à cage d'écureuil, ainsi que tous dispositifs de protection ou de sécurité nécessités par l'installation.

III. Coffrets de manœuvre de moyennes et grandes puissances à bain d'huile. — Le principe de l'interruption dans l'huile mis en pratique par

Brown en 1897, actuellement généralisé pour les appareils de branchement de grandes puissances, a été adopté pour les coffrets de manœuvre dont la puissance d'interruption dépasse 200 kv-A, certains constructeurs établissant d'ailleurs des appareils à bain d'huile pour des pouvoirs de rupture inférieurs.

On établit actuellement des coffrets de ce type pour des tensions d'alimentation pouvant atteindre 6 000 kv-A. Ils permettent la commande des moteurs haute tension avec le maximum de sécurité et de commodité de manœuvre. Les coffrets de manœuvre de moyennes et grandes puissances peuvent généralement être démontés en trois parties distinctes :

Le *bac à huile* fixé par sa partie supérieure au corps principal du coffret et dans lequel sont plongés les contacts fixes montés sur une traverse isolante et les contacts mobiles de l'interrupteur. Le mode de contact le plus habituellement adopté est celui à lames multiples ou à balais avec ou sans-pare-étincelles. Le bac à huile se trouve muni, dans la plupart des cas, d'un niveau d'huile, d'un robinet de vidange et d'une vis servant à la mise à la terre de l'appareil.

Le *corps principal* du coffret dans lequel se trouvent montés les divers organes assurant la commande de l'interrupteur, ainsi que les appareils auxiliaires de mesure et de sécurité, tels qu'ampèremètre, dispositifs de déclenchement à maxima d'intensité et à minima de

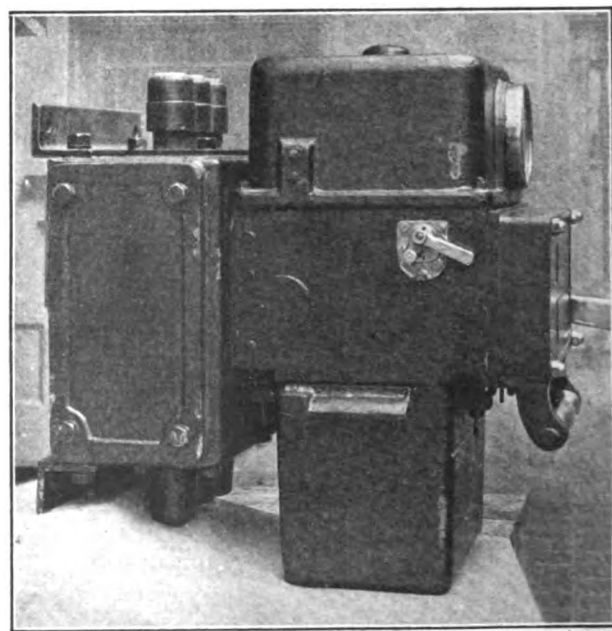


Fig. 5. — Coffret « Metropolitan-Vickers. Interrupteur à rupture dans l'huile prévu pour service des mines.

tension. La commande de l'interrupteur est généralement assurée par un seul levier dont les diverses positions de manœuvre sont bien déterminées ; l'appareil utilisé dans les mines anglaises et que nous reproduisons en figure 5 possède, en outre, et du côté opposé au

levier principal de commande, une manette qui peut prendre trois positions : *a*) Une position correspondant aux conditions normales de service laissant libre le jeu de tous les organes du dispositif; *b*) une position dans laquelle l'enclenchement de l'interrupteur est rendu impossible et qui est prise automatiquement lorsque, l'appareil étant muni de bobines à maxima d'intensité, la valeur du courant sur la ligne se trouve être trop élevée; *c*) une position dans laquelle les bobines de déclenchement à maxima d'intensité se trouvent mises hors circuit, position que la manette ne peut garder qu'étant maintenue à la main, un ressort tendant à la ramener à la position normale *a*). Cette disposition est particulièrement intéressante pour le démarrage des moteurs d'induction à induit en court-circuit ou même de machines à induit bobiné démarrant sous couple élevé; elle permet, en effet, de supprimer tout dispositif retardateur qui en marche normale peut présenter des inconvénients. Le corps principal du coffret est généralement muni d'une porte de vitesse avec dispositif de verrouillage.

Enfin, la *boîte de connexions* qui peut être montée, soit à la partie supérieure du coffret, soit derrière le

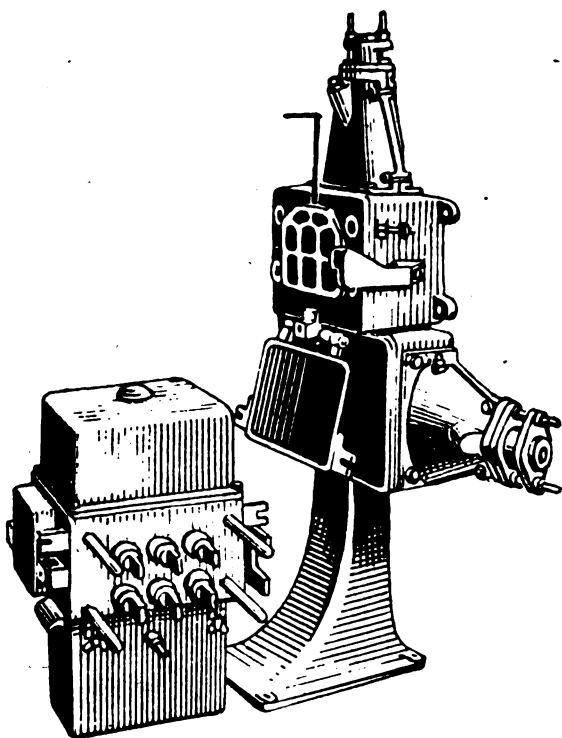


Fig. 6. — Coffret « Metropolitan-Vickers » pour service des mines.

corps principal. Les connexions sont effectuées sur les isolateurs; nous signalons, à ce point de vue, la particularité de construction présentée par le coffret dont nous avons parlé précédemment : les bornes sont constituées par des lames s'engageant dans des mâchoires dans la boîte de branchement, et absolument indépen-

dantes de l'interrupteur lui-même, comme il est facile de s'en rendre compte à l'examen de la figure 6. La boîte de branchement et l'interrupteur sont rendus solidaires au moyen d'un dispositif de verrouillage prévu de manière que l'interrupteur ne puisse être séparé de la boîte de branchement, tant que l'appareil est sous tension et qu'il ne soit possible de le remettre en place avant que la boîte protectrice n'ait été fermée et que le levier de commande n'ait été placé dans la position « circuit ouvert ».

Les coffrets de manœuvre peuvent être assemblés entre eux au moyen de boîtes de branchement et constituer ainsi de véritables tableaux de distribution blindés.

IV. Une application du principe de l'appareillage blindé. — Le démarreur adossé. — La généralisation du principe du coffret de manœuvre a conduit quelques constructeurs à prévoir, pour les moteurs asynchrones à induit bobiné, des appareils qui non seulement assurent le contrôle du stator, comme c'est le cas des coffrets, mais encore possèdent les résistances et appareils de réglage montés sur le circuit du rotor en vue du démarrage. Ces appareils peuvent être en outre adossés aux moteurs, constituant ainsi des ensembles homogènes et assurer au moment opportun la commande du dispositif de mise en court-circuit. Ils sont conçus de façon à interdire toute fausse manœuvre, tant au démarrage qu'à l'arrêt des moteurs et peuvent ainsi être mis entre toutes les mains. Nous décrivons, dans un but documentaire, un appareil de ce type dont la figure 7 reproduit une photographie.

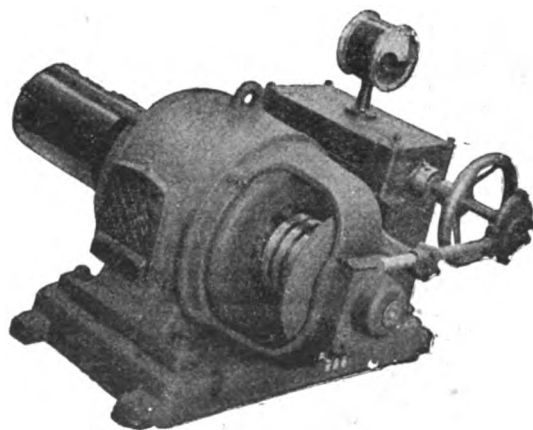


Fig. 7. — Démarreur adossé « C.E.M. », avec interrupteur de stator et ampèremètre.

Cet appareil entièrement blindé est constitué par deux cylindres accouplés à des roues dentées : le cylindre du stator sert au branchement et au débranchement du moteur sur le réseau; celui du rotor, formant contrôleur, sert au réglage des résistances. L'ensemble du dispositif est plongé dans l'huile. En agis-

sant sur le volant de commande du démarreur et dans le sens indiqué pour le démarrage, les différentes phases du couplage se succèdent automatiquement et dans l'ordre convenable : mise sous tension de l'enroulement du stator, diminution progressive de la résistance montée sur le circuit du rotor, mise en court-circuit des bagues et relevage des balais. Afin d'éviter que le démarrage ne soit réalisé trop rapidement, ce qui se produit fréquemment dans les appareils ordinaires amenant une détérioration rapide des contacts du rhéostat et du dispositif de mise en court-circuit du moteur, on a adjoint au dispositif de commande une roue à rochet qui est retenue par un cliquet agissant avec force et ne permettant le mouvement de rotation du volant à main que par à-coups. L'arrêt s'effectue avec la même facilité, ramenant l'ensemble du dispositif à sa position initiale, et, en particulier, les balais sur les bagues ; on est donc assuré que, lors d'une prochaine mise en service, le moteur démarrera normalement et non pas avec son rotor en court-circuit, comme cela peut arriver à la suite d'une inattention lorsque les commandes de l'interrupteur de stator, du rhéostat et du dispositif de mise en court-circuit sont indépen-

dantes. Enfin, ce type de démarreur peut, le cas échéant, être muni de tous les appareils de mesure ou de sécurité nécessités par l'installation, ampèremètres, dispositifs à déclenchement et mise hors circuit automatique à minima de tension et à maxima d'intensité.

V. Conclusion. — L'expérience actuellement acquise dans le domaine de l'appareillage blindé a permis de mettre au point des appareils assurant aux points de vue tant mécanique qu'électrique le maximum de sécurité, et dans les conditions de service habituelles ; nous ne nous sommes proposé, dans cet article, que de donner un aperçu des types les plus courants et d'en faire valoir les qualités vraiment industrielles. Mais en vue de progresser dans la voie des améliorations, il serait intéressant que les conditions de service fussent précisées dans chaque domaine d'application, et plus particulièrement dans les services de mines ; nous avons eu l'occasion de citer dans cet ordre d'idées, l'édition d'avril 1921 du « Coal Mines Act 1911 » qui constitue pour le constructeur un guide utile.

J.-Paul GUY,

Ingénieur de la Compagnie Electro-Mécanique.

Revue, analyses et informations

Essai d'un moteur synchrone, démarreur en asynchrone et à fort couple de démarrage ⁽¹⁾.

1. GÉNÉRALITÉS. — Les moteurs synchrones dont le démarrage doit se faire sans moteur spécial possèdent, en général, sur le rotor un enroulement supplémentaire du

rage à faible couple résistant et, d'autre part, le passage de la marche asynchrone à la marche synchrone sous faible charge seulement. On désire actuellement un moteur offrant tous les avantages du moteur synchrone et dont le démarrage ne le cède en rien à celui du moteur asynchrone. Deux solutions se présentent pour atteindre ce but.

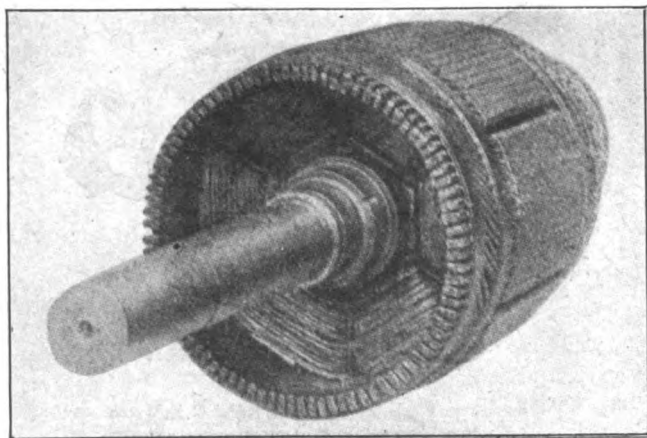


Fig. 1. — Rotor de la machine d'essai.

genre de celui des moteurs asynchrones. Mais cette disposition ne permet, le plus souvent, d'une part, qu'un démar-

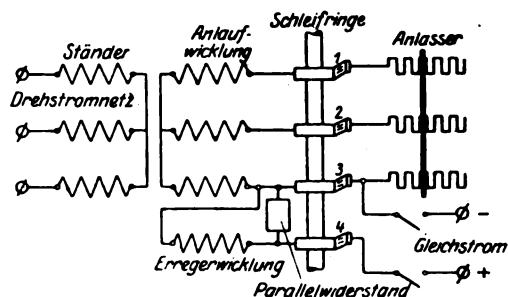


Fig. 2. — Schéma des connexions.

Ständer, stator ; Drehstromnetz, réseau triphasé ; Anlaufwicklung, enroulement de démarrage ; Erregerwicklung, enroulement d'excitation ; Parallelwiderstand, résistance en parallèle ; Schleifringe, bagues ; Anlasser, démarreur ; Gleichstrom, courant continu.

1° Transformation, après démarrage, d'un moteur asynchrone en un moteur synchrone (moteur asynchrone synchronisé) ;

2° Amélioration du moteur synchrone en ajoutant au rotor un enroulement se rapprochant le plus possible de celui des moteurs asynchrones (moteurs synchrones à haut couple de démarrage).

De nombreux essais ont été faits ces dernières années.

⁽¹⁾ JOHANN GEWECKE. E. T. Z., 27 octobre 1921, t. XLII, p. 1 217-1 221, 2 500 mots, 11 fig.

mais peu de résultats ont été publiés. L'étude résumée ici se propose de combler cette lacune pour la seconde des solutions rappelées.

2. LA MACHINE D'ESSAI. — Cette machine était d'une puissance de 20 kw à 500 v; sa vitesse était de 1000 tours par minute. Elle est un intermédiaire entre les moteurs synchrone et asynchrone et réunit les avantages de ces deux types. Dans sa construction, on a prévu qu'elle ne fonctionnerait

que comme moteur et non comme générateur. Le rotor (voir fig. 1) possède des pôles très larges présentant un rapport de l'arc polaire au pas polaire égal à 0,95. Ces pôles sont exci-

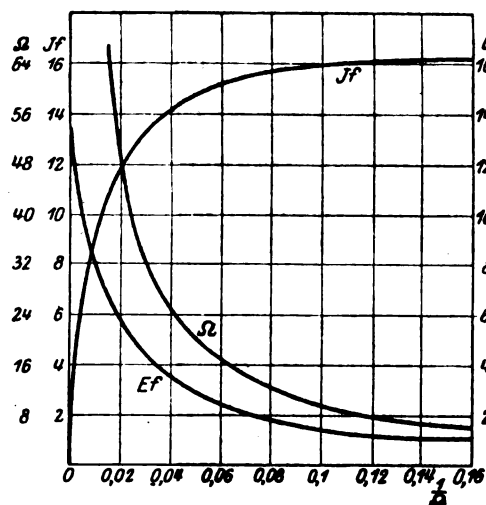


Fig. 3. — Tension aux bornes de l'enroulement d'excitation des pôles en fonction de la valeur de la résistance en parallèle.

J_f , courant au travers de cette résistance.

tés par du courant continu amené par deux bagues. Des rainures fraisées dans les semelles feuilletées des pôles

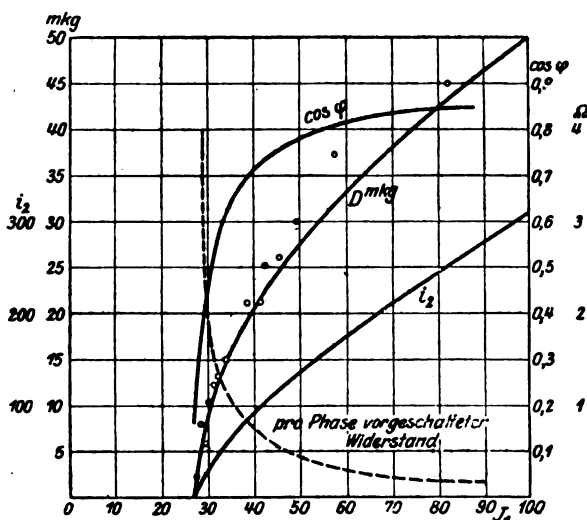


Fig. 5. — Couples pendant le démarrage.

Pro phase vorgeschalteter Widerstand, résistance par phase.

recevaient l'enroulement de démarrage; la répartition qui en résultait était pratiquement uniforme. Le fer de la machine était très saturé; le passage de la marche asynchrone à la

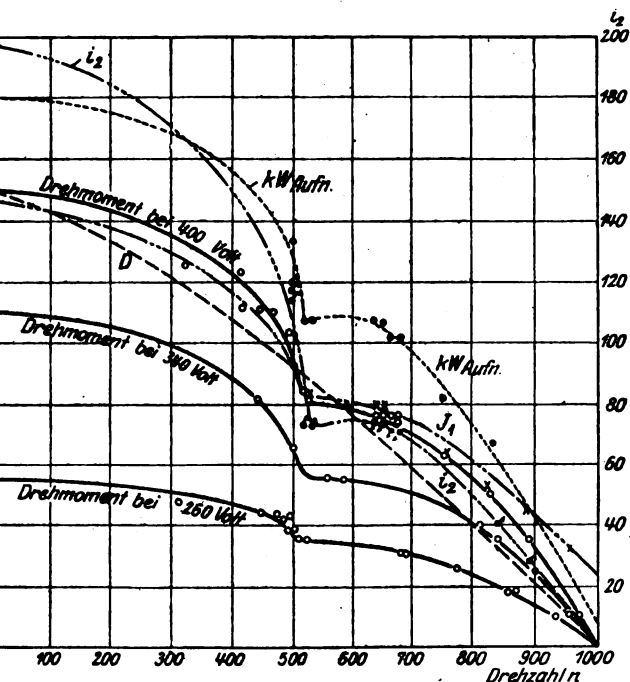


Fig. 4. — Courbes de couples pour une résistance de 35 ohms en parallèle sur l'enroulement des pôles.

D, courbe des couples lorsque cet enroulement est ouvert; Drehmoment bei, couple pour; kW Aufnahme, kW relevés; Ständerstrom, courant du stator; Läufstrom, courant du rotor.

marche synchrone s'en trouve facilitée. De plus, avec cette forte saturation, pour une excitation constante, on a un $\cos \phi$

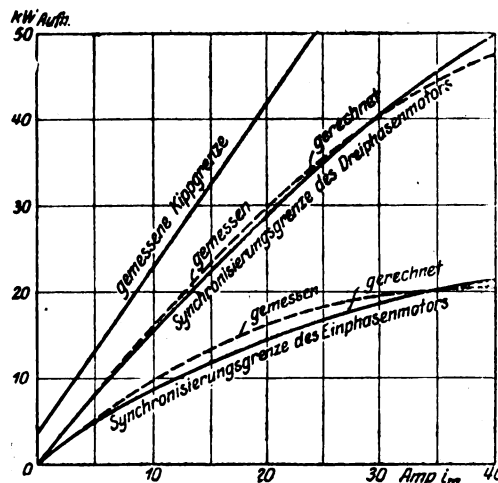


Fig. 6. — Limite de synchronisation.

Gemessen, mesuré; Gerechnet, calculé; Synchronisierungsgrenze des Dreiphasenmotors, limite de synchronisation du moteur triphasé; Synchronisierungsgrenze des Einphasenmotors, limite de synchronisation du moteur monophasé.

voisin de 1 dans de très grandes limites de charge, le facteur de puissance étant en avance pour les petites charges et en retard pour les grandes.

La mise en marche se fait de la manière suivante (fig. 2) : L'enroulement de démarrage est relié à un démarreur et l'enroulement du stator est mis sous tension. En mettant progressivement le démarreur en court-circuit, le moteur prend le nombre de tours asynchrones qui correspond à la charge. On excite alors les pôles et le nombre de tours monte rapidement au nombre de tours synchrones. Dans la marche synchrone, on a laissé fermé l'enroulement de dé-

marrage qui sert alors d'amortisseur lors des brusques variations de charges.

3. ÉTUDE DU DÉMARRAGE. — Au moment où l'on met le stator sous tension, il se produit une très haute tension entre les extrémités de l'enroulement d'excitation des pôles. On peut abaisser cette tension dans une grande mesure par l'adjonction d'une résistance en parallèle ainsi que l'indique la

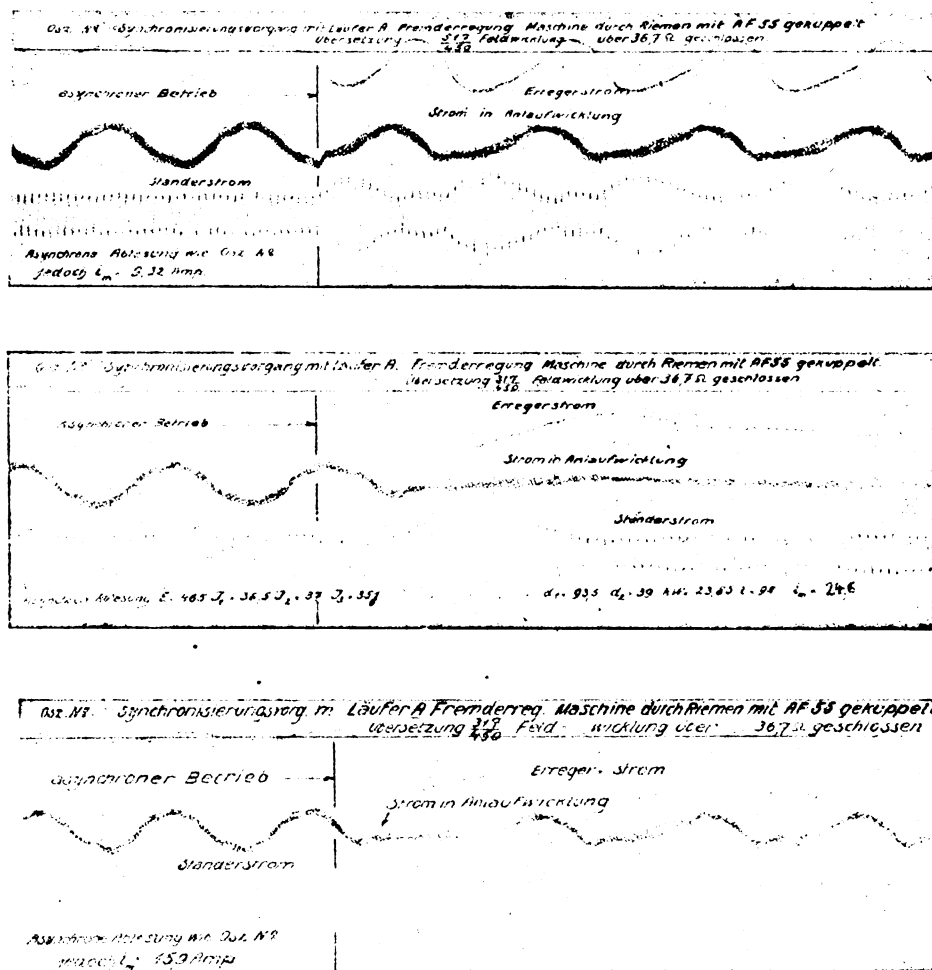


Fig. 7. — Synchronisation avec rotor à pôles concentriques. Charge de 23,85 kw.

Synchronisierungsvorgang mit Laufer A. Fremderregung. Maschine durch Riemen mit A F 53 gekuppelt, marche de la synchronisation avec rotor A. Excitation séparée. Machine entraînée par courroie par A F 53; Übersetzung réduction; Feldwicklung über 36,7 Ω geschlossen, excitation de champ fermée sur 36,7 ohms. Asynchroner Betrieb, marche asynchrone; Erregung, excitation; Erregungsstrom, courant d'excitation; Ständerstrom, courant du stator; Strom in Anlaufwicklung, courant dans l'enroulement de démarrage.

figure 3. Cette résistance doit être déterminée de telle manière que la tension soit abaissée suffisamment, mais sans qu'il en résulte cependant de difficulté pendant le démarrage, ni de diminution sensible du rendement.

Des essais approfondis montrent une certaine tendance à l'accrochage lorsque le moteur atteint environ la moitié du nombre de tours synchrones (fig. 4). La cause de ce fait doit être recherchée dans la forme des pôles; son importance est plus ou moins grande suivant la résistance sur laquelle est fermé l'enroulement polaire. Il cesse lorsque l'enroulement est ouvert.

La figure 5 donne la variation du couple résistant en fonction du courant J_1 du stator. Le couple normal pour la marche normale (20 kw, 1 000 t : mn) est de 19,5 kg-m.

4. SYNCHRONISATION. — Le passage de la marche asynchrone à la marche synchrone se fait souvent de lui-même lorsque la charge est petite (influence des courants de Foucault, de l'hystérésis, de la forme des pôles).

Mais quand ce passage doit se faire sous forte charge, il devient nécessaire d'exciter l'enroulement polaire par du courant continu. Le nombre de tours asynchrones étant

rants superposés; dans la courbe du courant d'excitation, on distingue l'influence de la résistance mise en parallèle avec le circuit (courant alternatif superposé au continu). La synchronisation n'a pu se faire avec les intensités de courant de 9,32 et 15,9 A (cas a et b); mais bien, par contre, avec 24,6 A (cas c).

La figure 8 donne lieu à des observations analogues. Les pôles n'étaient plus concentriques comme dans le cas de la figure 7, mais l'entrefer était plus grand sur les bords. Les variations du courant du stator sont plus faibles.

Les machines à forte réaction d'induit ont les plus faibles valeurs maxima de courant au moment de la synchronisation.

La figure 9 donne la représentation des résultats obtenus dans la marche en *moteur monophasé*. L'excitation était de 20 A dans les cas a et b et de 15,1 A dans les cas c et d. On constate qu'il y a synchronisation ou non suivant l'instant où l'on excite les pôles inducteurs, contrairement à ce qui se passe pour la marche en *moteur triphasé*. — L_v.

La commutation dans les machines à courant continu ⁽¹⁾.

On sait que, dans les machines à courant continu à forte charge linéaire dans l'induit (nombre d'ampères-conducteurs par centimètre de la circonférence de l'induit), la commutation se fait dans des conditions particulièrement dures; la tension de réactance, dans ces machines, s'élève à une grande valeur et, par suite, sa compensation au moyen des pôles auxiliaires produit un fort courant additionnel dans les bobines d'induit court-circuitées par les balais, ce qui cause des étincelles au collecteur.

Dans les machines de faible puissance la compensation de la tension de réactance à chaque instant de la commutation n'est pas absolument nécessaire, la compensation de sa va-

leur *moyenne* suffit dans bien des cas, mais dans les grandes machines à forte charge linéaire dans l'induit, il faut remplir cette condition de la compensation exacte. Dans ce cas, il faut connaître la courbe de la tension de réactance, son maximum et son minimum, l'instant du court-circuit, le courant par centimètre de la circonférence de l'induit, etc., ce qui permet de trouver l'induction magnétique sous le pôle auxiliaire et non seulement sa valeur moyenne, mais sa forme.

L'auteur appelle *tension de réactance* la force électromotrice résultante induite dans les conducteurs de l'armature au moment de la commutation; elle dépend de l'induction mutuelle des conducteurs logés dans une même encoche et aussi dans les encoches adjacentes; il appelle force électromotrice de self-induction celle qui est engendrée dans le conducteur par l'altération de son propre champ magnétique. Il détermine d'abord la courbe théorique de la tension de réactance dans un induit Gramme à trois conducteurs par encoche; il passe ensuite aux enroulements en tambour. Dans ceux-ci, qui comportent deux couches d'enroulement, il faut considérer l'inductance mutuelle des conducteurs logés dans l'encoche soit côte à côte, soit les uns au-dessous des autres dans les différentes couches. L'auteur considère d'abord les enroulements à pas raccourci et trace les courbes de tension de réactance pour différents raccourcissements du pas et différentes largeurs de balai. Il fait ensuite les mêmes tracés pour les enroulements à pas diamétral. Il calcule les pôles auxiliaires et indique la forme que doivent avoir leurs pièces polaires pour que la tension de réactance soit compensée à tout moment de la commutation. Il rend compte ensuite des expériences pour lesquelles il a pu obtenir les oscillographies des tensions de réactance au moyen d'un dispositif spécial. Il termine par les conclusions suivantes :

1° La valeur maximum de la tension de réactance e_{mx} décroît quand on augmente la largeur b du balai; cette relation entre e_{mx} et b n'est pas une fonction continue, mais est

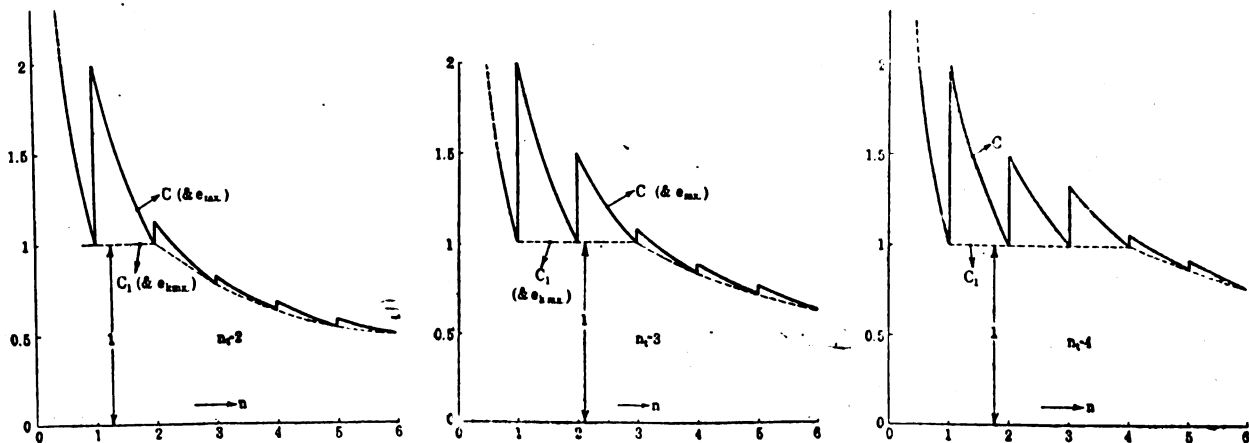


Fig. 1. Valeur maximum de la tension de réactance e_{mx} et valeur maximum de la tension de compensation e_{kmx} en fonction du nombre de lames chevauchées par un balai n (nombre de lames correspondant à une encoche, $n_t = 2$). — Fig. 2. Valeur de e_{mx} et e_{kmx} en fonction de n pour $n_t = 3$. — Fig. 3. Valeur de e_{mx} et e_{kmx} en fonction de n pour $n_t = n_2$.

représentée par une courbe dentelée, comme celle des figures 1, 2 et 3. La valeur maximum de la force électromotrice engendrée par les pôles auxiliaires, lorsque le nombre de lames chevauchées par un balai est petit ($n < n_t$, n étant le nombre de lames chevauchées par un balai, n_t le nombre de lames correspondant à une encoche), ne dépend pas de la largeur du balai, mais pour $n < n_t$, elle décroît quand la largeur du balai augmente.

2° Avec un pas fortement raccourci des enroulements induits, on obtient une courbe dyssymétrique pour la tension

de réactance, il faut donc éviter de tels enroulements; si le raccourcissement du pas est petit, son influence sur la valeur et la forme de e_{mx} n'est pas très importante.

3° Pour obtenir une courbe unie de e_{mx} , sans dents aiguës, il est nécessaire de construire les machines avec un grand nombre d'encoches et peu de lames au collecteur n_t par encoche. Il faut s'attacher à la règle suivante quand on calcule la largeur du balai : Le nombre de lames n chevauchées par le balai doit, si possible, ne pas être inférieur au nombre de lames par encoche n_t . En suivant cette règle, on obtient une courbe de forme unie pour la tension de réactance et, par suite, la compensation de cette tension par les pôles auxiliaires peut être presque complète. — P. L.

(1) Claudius SHENFER. J. A. I. E. E., novembre 1907, t. XL, p. 842-850, 7 000 mots, 25 fig.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Maison Bréguet.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 28 OCTOBRE 1921.

La crise économique de 1921 a été ressentie par la société dans ses industries de transformation par suite des fluctuations des prix des matières premières et des matériaux.

Quelque espérance qu'on puisse concevoir d'une reprise progressive des affaires, la disproportion semble trop grande entre la puissance de production et la consommation mondiales, pour que l'équilibre puisse d'être atteint avant une longue période que seules ont chance de traverser, sans trop de dommages, les sociétés qui auront eu la sagesse de s'y adapter.

C'est pourquoi le Conseil, dès les premiers mois de 1920, se préoccupait d'assurer à la trésorerie, par le doublement du capital de la société, les ressources qui lui permettent de présenter aujourd'hui une situation financière des plus saines, avec un carnet de commandes, au 1^{er} mai 1921, supérieur au chiffre des livraisons de l'exercice écoulé; malheureusement, la plus grande partie de ces commandes provient encore de 1920, les affaires s'étant ralenties depuis l'automne dernier.

La ténacité mise dès le premier jour à poursuivre auprès de la Commission cantonale des dommages de guerre de Douai, le règlement du sinistre, a été enfin récompensée. La Commission cantonale fixait, le 6 avril dernier, à la somme de 20 831 000 fr le montant global de l'indemnité due pour le dommage subi en 1914 et la reconstitution intégrale de l'usine et de ses approvisionnements.

Pour parer aux lenteurs que met l'Allemagne à l'acquiescement de sa dette et aux difficultés que l'État rencontre pour le règlement des indemnités aux sinistrés, la loi de finances de 1920 l'a autorisé à se libérer de tout ou partie de ces indemnités, par la remise d'annuités s'échelonnant sur une période de trente ans, portant intérêt à 6 pour 100, et pouvant servir de gage aux obligations que les sinistrés voudraient émettre en représentation.

La compagnie a fixé à six millions le montant de la somme qu'elle désirait recevoir en annuités, et le 15 avril dernier, elle signait un accord conforme avec le ministre des Finances. Dès qu'elle a été en possession de ses titres d'annuités, bien qu'elle n'eût pas l'emploi immédiat de la somme dans le programme de réorganisation de ses ateliers, la compagnie a cru sage de procéder à l'émission d'obligations gagées sur ces annuités.

Au 15 octobre, la situation des travaux était la suivante : les ateliers sont entièrement terminés, clos et couverts. La compagnie a déjà reçu environ pour 4 millions de matériel, qu'elle commencera à installer dès que les ponts roulants, qui sont actuellement en montage, seront prêts à fonctionner.

Elle compte procéder, cet hiver, à l'installation générale du matériel, aux installations de force motrice, éclairage et

chauffage et à l'aménagement des voies extérieures et des bureaux, enfin à la commande du matériel secondaire dont l'approvisionnement est facile et rapide, de telle sorte que ses ateliers soient en état de fonctionner vers le 1^{er} mai prochain.

Elle a, d'autre part, poursuivi et achevé cette année l'installation de ses ateliers de Deville, qui doivent se spécialiser dans la construction du matériel de condensation et de pompes centrifuges.

En même temps, la compagnie se trouvait obligée, par suite de la lenteur de reconstruction de ses ateliers de Douai, d'accroître la capacité de production de l'atelier provisoire d'électricité de Paris, par l'achat de nombreuses machines qui doivent ultérieurement être transportées à Douai.

L'impôt sur les bénéfices de guerre n'ayant pris fin que le 30 juin 1920, il est encore dû à l'État 1/6 de la part qui lui revenait, en vertu des dispositions de la loi de 1916.

En conséquence, du total, soit 1 740 914,79 fr, il y a lieu de déduire, tout d'abord, le report de l'exercice précédent, 5 183 09 fr et la part de l'État, 34 079,20 fr.

Le bénéfice ressort donc à 1 701 652,50 fr.

La réserve légale, qui avait atteint le 1/10 de l'ancien capital, n'est plus suffisante aujourd'hui; il est prélevé 5 pour 100 pour cette réserve.

La somme à répartir s'élève donc, au total, à 1 616 569,90 fr, soit : aux tantièmes statutaires, 254 814 fr; à la participation des employés, 127 407 fr; à l'amortissement des immeubles, 41 200 fr; à l'amortissement du matériel, 254 000 fr; pour un dividende supplémentaire de 5 pour 100 aux actions, 342 500 fr.

(La différence, pour compléter les 400 000 fr nécessaires, soit 57 500 fr, étant prise sur la provision de 115 000 fr). Une attribution aux réserves de 250 000 fr.

Le report à l'exercice suivant (y compris le report de l'exercice précédent), est de 9 331,99 fr.

Le dividende brut est fixé à 50 fr, soit 10 pour 100 par action. L'acompte de 25 fr étant à déduire, le solde est payable depuis le 15 novembre prochain, aux guichets du Crédit Lyonnais et du Comptoir d'Escompte, sous déduction de l'impôt.

BILAN AU 30 AVRIL 1921.

| Actif. | fr |
|------------------------|--------------|
| Fonds de commerce..... | 1 3 |
| Immeubles : | |
| Paris..... | 1 037 131,68 |
| Deville..... | 1 021 257,05 |
| Terrains : | |
| Paris..... | 292 157,58 |
| Douai..... | 65 605,53 |
| A reporter..... | 2 416 151,84 |

| | | |
|--------------------------------------------------------------|--------------------|---------------|
| | <i>Report.....</i> | 2 416 151,84 |
| Matériel, mobilier, outillage | | |
| Paris..... | 3 145 277,03 | |
| Deville..... | 1 537 739,58 | |
| Marchandises : | | |
| Paris..... | 4 501 849,07 | |
| Deville..... | 761 306,81 | |
| Travaux en cours..... | 6 440 783,55 | |
| Dette de l'Etat pour valeurs des anciens ateliers de Douai : | | |
| Sujette à emploi..... | 3 587 521,91 | |
| Non sujette à emploi..... | 683 615,10 | |
| Nouveaux ateliers de Douai..... | 4 033 897,62 | |
| Fournisseurs de matériel destiné à Douai..... | 2 354 979,58 | |
| Débiteurs divers..... | 4 783 737,15 | |
| Caisse et portefeuille..... | 197 628,80 | |
| Participations industrielles..... | 42 267,95 | |
| Banquiers..... | 71 870,12 | |
| Rentes sur l'Etat..... | 2 305 794,20 | |
| Bons de la Défense nationale..... | 2 000 000 » | |
| | <hr/> | 38 864 421,31 |

Passif.

| | | |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|
| | <i>fr</i> | |
| Capital..... | 8 000 000 » | |
| Réserves : | | |
| Statutaires..... | 400 000 » | |
| Prime sur émission des actions nouvelles.... | 1 885 000 » | |
| Extraordinaire..... | 3 570 000 » | |
| Provisions pour l'égalisation de jouissance des actions..... | 115 000 » | |
| Obligations en circulation..... | 3 490 000 » | |
| Fournisseurs..... | 4 386 130,08 | |
| Créditeurs divers..... | 383 151,56 | |
| Administration des Finances (solde de l'impôt sur les bénéfices de guerre)..... | 763 162,43 | |
| Avances sur travaux en cours..... | 7 843 170,79 | |
| Contribution de l'Etat pour la reconstruction des ateliers de Douai..... | 6 288 891,48 | |
| Bénéfice..... | 1 740 914,79 | |
| | <hr/> | 38 864 421,31 |

Compagnie des Eaux et d'Electricité de l'Indo-Chine.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 7 DÉCEMBRE 1921.

Le dernier exercice social est le vingt et unième depuis la constitution de la société.

Les accords conclus l'an dernier avec les municipalités, dont la compagnie tient ses concessions, revisaient les tarifs stipulés aux différents contrats, mais le gouverneur général de l'Indo-Chine n'avait donné à ces conventions nouvelles qu'une approbation temporaire, désirant les faire examiner par des spécialistes avant de les approuver définitivement.

Cette approbation temporaire a été renouvelée trimestriellement jusqu'à ce jour. C'est seulement grâce à ce nouveau régime que la compagnie a pu réaliser, malgré les dépenses extrêmement élevées qui résultent pour elle, tant de la hausse des prix des matières payées en monnaie locale que du cours toujours élevé de la piastre, un bénéfice d'exploitation de 1 820 228,04 fr.

La centrale de Choquan, malgré la surcharge qu'il a fallu imposer au matériel pour répondre à l'augmentation considérable de la consommation, a continué à assurer la distribution de l'éclairage, de la force motrice et de l'eau dans les villes de Saïgon et de Cholon, ainsi que dans diverses localités des provinces de Gia-Dinh et de Bien-Hoa.

Cette surcharge a obligé à installer dans cette usine une

nouvelle chaudière de 340 m² de surface de chauffe pour faire face à l'accroissement continu du débit.

L'augmentation de la clientèle a obligé également, malgré les prix élevés du matériel électrique, à renforcer les sous-stations et les postes de transformation de Saïgon et de Cholon, ainsi que les réseaux de distribution de ces deux villes. Ces différents travaux, dont le montant s'élève à plus de 1 500 000 fr, sont actuellement en cours d'exécution.

Le matériel de l'exploitation de Pnom-Penh étant, lui aussi, devenu insuffisant pour répondre aux demandes de la population, la compagnie a fait établir un projet de renforcement de cette usine par un groupe moteur Diesel-alternateur de 480 ch. Ce projet, dont le coût s'élèvera à près de un million, a été soumis à l'approbation du Protectorat du Cambodge, et sera mis à exécution dès qu'accord aura été donné. Des pourparlers sont également engagés pour le doublement du câble sous-fluvial, la pose du deuxième siphon et la construction d'un nouveau réservoir.

Au cours de cet exercice, la compagnie a achevé la mise en service du centre de Bien-Hoa distant de Saïgon de 30 km et traité avec l'administration locale pour l'établissement d'une ligne de transport d'énergie à haute tension et d'un réseau de distribution à basse tension pour l'éclairage des centres de Lai-Thieu, Bung et Thudaumot. Ce développement du réseau a conduit à élever sa tension de 6 000 à 12 000 v. Ces travaux sont en cours.

Les recettes totales s'élèvent à 3 724 429,81 fr. Défalcation faite des frais généraux à Paris, des taxes fiscales, des sommes nécessaires au service des obligations et de la quote-part pour amortissement des immobilisations, il reste, avec le report de l'exercice précédent, un solde disponible de 1 113 167,11 fr, qui se répartit :

5 pour 100 à la réserve légale.

5 pour 100 intérêts aux actions.

55 569,70 fr de tantièmes statutaires.

Un dividende supplémentaire aux actions de 500 000 fr.

Le report à nouveau est de 2 034,41 fr.

Toutes les actions, tant anciennes que nouvelles, recevront ainsi un dividende de 50 fr nets, sur lequel un acompte de 25 fr a été payé le 1^{er} juillet dernier. Le solde, soit 25 fr, est mis en paiement depuis le 1^{er} janvier aux guichets de la Banque de l'Indo-Chine, contre remise du coupon n° 39.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

Actif.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|
| | <i>fr</i> | |
| Actif dont la compagnie n'a que la jouissance et qui doit revenir aux villes en fin de concession. | | |
| Concessions et usines anciennes.... | 4 800 000 » | |
| Concessions et usines nouvelles.... | 7 809 625,35 | |
| | <hr/> | 12 609 625,35 |
| Amortissements effectués..... | 5 879 715,96 | |
| | <hr/> | 6 729 909,39 |
| Actif appartenant en propre à la compagnie. | | |
| En caisse..... | 271 343,82 | |
| En banque..... | 768 615,98 | |
| En portefeuille..... | 1 506 195 » | |
| Bons de la Défense nationale et Rente française. | 1 632 653,50 | |
| Marchandises en magasin..... | 3 153 833,65 | |
| — en cours de route..... | 454 833,65 | |
| Débiteurs divers et clients..... | 1 882 183,57 | |
| Cautionnements aux municipalités..... | 56 333,33 | |
| Annuités dues par les provinces..... | 497 226,26 | |
| Avances aux fournisseurs..... | 306 629,65 | |
| | <hr/> | 17 373 556,01 |

A reporter.....

| | |
|--------------------------------------------------------------|----------------------|
| <i>Report</i> | 17 373 556,00 |
| Travaux en cours : | |
| Usine de Phnom-Penh (prorogation 1914)..... | 226 523,97 |
| Immeubles, mobilier, matériel en service et en location..... | 876 266,33 |
| | <u>18 476 346,30</u> |

Passif.

| | |
|-----------------------------------------------------------|----------------------|
| | fr |
| Capital-actions..... | 10 000 000 » |
| Primes d'émission..... | 3 540 000 » |
| Réserve légale..... | 616 934,26 |
| Réserve de prévoyance et d'amortissement des actions..... | 2 117 500 » |
| Comptes créditeurs..... | 930 576,85 |
| Coupons échus et obligations amorties non réclamés..... | 158 168,08 |
| Profits et pertes : | |
| Reliquat de l'exercice 1919-1920..... | 1 907,27 |
| Bénéfice de l'exercice 1920-1921..... | 1 111 259,84 |
| | <u>18 476 346,30</u> |

**Société d'Applications Industrielles
(Compagnie d'Entreprises Électriques).**

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 25 NOVEMBRE 1921.

La société a continué de souffrir pendant cet exercice de la crise des changes qui ne s'est nullement atténuée ; elle a des engagements assez importants en Suisse provenant de l'achat que la société y a fait, pendant la guerre, de titres de sociétés de distribution d'énergie électrique.

Pendant l'exercice précédent, elle avait différé le règlement de cette dette et avait eu seulement à supporter la perte au change provenant du paiement des intérêts.

Pendant l'exercice, elle a commencé le paiement de cette dette. Pour l'un des créanciers, elle en a remboursé la moitié le 30 juin dernier.

Par contre, l'autre créancier a consenti à ce que ces remboursements soient échelonnés sur huit années en seize semestrialités, à partir du 30 juin dernier.

La crise générale économique a restreint l'activité de la société. Néanmoins, ses bénéfices industriels s'élèvent à 1 395 760,94 fr contre 1 518 803,38 fr pour l'année précédente.

Ces résultats ont été obtenus après avoir, comme l'année dernière, porté les pertes au change réalisées pendant l'exercice, en diminution de la provision pour risques de change.

Ils ont pu être atteints grâce à l'amélioration de la situation de la plupart des sociétés de production et de distribution d'énergie dans lesquelles nous sommes intéressés.

Presque toutes ces sociétés ont obtenu des relèvements de tarifs correspondant à la modification de la situation économique.

Les sociétés hydroélectriques ont eu à souffrir de la sécheresse tout à fait exceptionnelle et persistante qui a sévi depuis le début de l'année.

Le Conseil donne quelques renseignements sur la marche des principales entreprises dans lesquelles la société est intéressée.

Société de la Haute-Isère. — Cette société poursuit l'aménagement de sa première chute de Vielaire dont les travaux sont relativement avancés. L'usine d'une puissance de 30 000 kw, et dont l'énergie est principalement destinée à

la région lyonnaise, sera probablement mise en marche en 1923.

Société des Forces motrices de la Truyère. — Les travaux d'aménagement des chutes de la Truyère ont dû être suspendus partiellement par suite des difficultés économiques actuelles ; ils reprendront dès que la situation le permettra

Compagnie électrique de la Loire et du Centre. — Les recettes ont atteint 36 129 197 fr, en augmentation de 13 294 307 fr.

Mais cette société a subi les effets de la sécheresse exceptionnelle de l'année 1921 qui l'a obligée à utiliser d'une façon onéreuse ses usines thermiques, pour compléter la production de ses usines hydrauliques.

Société méridionale de Transport de force. — Les recettes ont été de 5 790 953 fr en augmentation de 2 152 282 fr.

Le bénéfice est passé de 1 032 314 fr en 1919 à 1 353 603 fr en 1920.

Le dividende de l'exercice 1920 a été fixé à 35 fr par action de 500 fr amortie de 25 fr.

Sud Electrique (1). — Les recettes 1920-1921 ont atteint 7 596 448 fr en augmentation de 2 512 032 fr.

Le bénéfice est passé de 1 188 667 fr à 1 370 411 fr. Le dividende sera porté de 6 pour 100 à 7 1/2 pour 100 pour l'exercice 1920-1921, après d'importants amortissements.

La Société ninoise d'Electricité et la Société avignonnaise d'Electricité dont le Sud Electrique est le principal actionnaire ont pu, l'une augmenter, l'autre maintenir leur dividende.

Société des Forces motrices de la Loue. — Cette société construit sur la Loue, à proximité de Pontarlier, une usine hydroélectrique d'une puissance de 12 000 kw dont le courant sera vendu dans le département du Doubs. Les premiers groupes de l'usine viennent d'être mis en marche.

Société d'Electricité de Caen. — Le bénéfice d'exploitation s'est élevé en 1920 à 1 236 123,28 fr en augmentation de 753 200,90 fr sur l'exercice précédent.

La société a pu reprendre ses répartitions de bénéfices en distribuant un dividende de 7 pour 100.

Energie électrique du Nord de la France. — Cette société a continué à développer son exploitation et poursuit activement les travaux de sa nouvelle usine de Comines.

Le dividende de 12 pour 100 a été maintenu pour l'exercice 1920.

Est Electrique (2). — Le régime de la régie que l'Est Electrique avait demandé et sous lequel cette société fonctionnait depuis le 1^{er} octobre 1920 a pris fin le 30 septembre dernier. La société a donc repris son exploitation normale depuis le 1^{er} octobre. Son usine a été portée à 16 000 kw installés.

Union d'Electricité. — La construction de l'usine de 200 000 kw de Gennevilliers se poursuit activement et les premiers groupes seront mis en marche prochainement.

Est-Lumière. — Cette société poursuit ses négociations, comme tous les autres secteurs de la banlieue de Paris, avec la Conférence intersyndicale des Maires des communes de la

(1) Voir R. G. E., du 29 octobre 1921, t. x, p. 619.

(2) Voir R. G. E., du 22 octobre 1921, t. x, p. 572.

banlieue de la Seine pour obtenir des modifications à ses cahiers des charges.

Ces négociations n'ont pas encore abouti à un avenant définitif; mais néanmoins des résultats intéressants viennent d'être atteints.

Tous les secteurs de la banlieue ont obtenu de la plupart des communes un avenant dont les tarifs seront fonction des prix pratiqués à Paris par la Compagnie parisienne de Distribution d'Électricité.

Cet avenant institue, d'autre part, à la charge des communes un compte d'attente dont les modalités de liquidation seront décidées lors de la conclusion de l'avenant définitif qui doit avoir lieu le 31 décembre 1922.

La situation de l'Est-Lumière paraît donc s'être sensiblement améliorée, et il y a tout lieu d'espérer que l'avenant définitif, qui doit d'ailleurs intervenir en même temps pour tous les secteurs de la banlieue de Paris, consacrera cette amélioration.

La marche technique de l'exploitation a été satisfaisante pendant l'exercice écoulé.

Société andelysienne d'Électricité. — L'exploitation se développe normalement. Le bénéfice de l'exercice 1920 a été consacré aux amortissements.

Gaz et Électricité de Valence. — Les recettes 1920-1921 ont été de 1 539 882 fr en augmentation de 627 801 fr.

Le bénéfice est resté sensiblement le même et le dividende a été fixé à 6 1/2 pour 100.

Société industrielle de Gaz et d'Électricité. — Les recettes 1920-1921 ont atteint 1 522 026 fr en augmentation de 938 466 fr.

Aucun dividende n'a été distribué.

Compagnie des Chemins de fer départementaux de la Haute-Vienne. — Les recettes 1920 ont été de 2 494 213 fr en augmentation de 253 551 fr.

L'exploitation s'est soldée par un déficit de 1 623 000 fr; mais le département prenant à sa charge les insuffisances d'exploitation, l'exercice présente un léger bénéfice ayant permis la déclaration d'un dividende de 4 pour 100.

Trazione ed imprese Elettriche. — Par suite de la situation générale en Italie, aucune amélioration n'est encore survenue dans l'exploitation du chemin de fer électrique de Milan à Gallarate. Des pourparlers vont d'ailleurs être engagés avec le gouvernement italien en vue de l'allègement des charges fiscales qui pèsent sur l'exploitation des entreprises de tramways en Italie.

Compagnie d'Électricité et du Chemin de fer de Munster-La Schlucht. — L'exploitation du réseau d'électricité se développe dans des conditions favorables. La question de la reconstruction du chemin de fer n'est pas encore résolue.

Société anonyme des Établissements Gaiffe, Gallot et Pilon (1). — Les affaires de cette société suivent un

développement normal, notamment la vente des tubes à rayons X. La plus grande partie de ses fabrications est actuellement concentrée dans une usine qu'elle a achetée à Paris.

Le dividende de l'exercice 1920 a été porté à 8 pour 100 contre 6 pour 100 pour l'exercice 1919.

Les recettes totales de l'exercice comprenant : « Revenu du portefeuille, produits des avances et participations syndicales, commissions diverses, etc. », se sont élevées à la somme de 2 312 419,23 fr, dont il y a lieu de déduire les intérêts des obligations, les frais généraux et impôts sur les obligations, les intérêts et divers, soit un total de 916 658,29 fr.

Le solde créditeur du compte de profits et pertes de l'exercice 1920-1921, abstraction faites des pertes et dépréciations dues au change, s'élève donc à 1 395 760,94 fr contre 1 518 802,38 fr pour l'exercice précédent.

Il s'y ajoute les profits et pertes reportés des exercices antérieurs s'élevant à 117 072,08 fr, au total 1 512 833,02 fr.

Il est prélevé sur ces bénéfices la somme de 1 427 325 fr pour porter la provision pour risques de changes à 2 500 000 fr. Le report à nouveau est de 85 508,02 fr.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

Actif.

| | fr |
|----------------------------------------------|----------------------|
| Caisses et disponibilités..... | 341 808,06 |
| Coupons à encaisser..... | 363 497,51 |
| Débiteurs divers..... | 9 147 532,15 |
| Portefeuille..... | 19 887 306 » |
| Participations syndicales et commandite..... | 5 474 181,20 |
| Loyer d'avance et cautionnements..... | 7 065 » |
| Impôt de finances à recouvrer..... | 213 971,15 |
| Mobilier..... | 1 » |
| Dépréciation provisoire due au change..... | 4 757 295 » |
| Compte d'ordre..... | 2 000 000 » |
| Débitéur par aval..... | 10 000 000 » |
| | <u>52 392 657,67</u> |

Passif.

| | fr |
|----------------------------------------|----------------------|
| Capital..... | 10 000 000 » |
| Réserve légale..... | 182 623,01 |
| Provision pour risques de change..... | 3 500 000 » |
| A déduire : | |
| Perte au change de l'exercice..... | 2 427 325 » |
| | <u>1 072 675 »</u> |
| Obligations 4,25 pour 100..... | 3 000 000 » |
| Créanciers divers..... | 6 558 102,25 |
| Créancier payable par annuités..... | 8 010 928,70 |
| Coupons à payer..... | 55 495,69 |
| Profits et pertes reportés..... | 117 072,08 |
| Bénéfices de l'exercice 1920-1921..... | 1 395 760,94 |
| Compte d'ordre..... | 2 000 000 » |
| Compte d'aval..... | 10 000 000 » |
| | <u>52 392 657,67</u> |

(1) Voir R. G. E. du 6 août 1921, t. x, p. 214.

SECTION DE LÉGISLATION

Le Conseil d'État et l'impôt sur les bénéfices de guerre

Aperçu d'ensemble sur les décisions rendues

Pendant longtemps on ne s'est préoccupé, au point de vue de la jurisprudence en matière de l'impôt sur les bénéfices de guerre, que des décisions émanant de la Commission supérieure. C'était l'époque où il fallait avant tout établir le « fait ». Au point de vue du « droit », c'est-à-dire de la violation de la loi, le Conseil d'État a un pouvoir encore supérieur. Il semble que la limite entre ces deux juridictions ne soit pas toujours très bien comprise : c'est la raison d'être du présent article.

I. — « Et bien ! nous nous pourrions au Conseil d'État »... Telle est la phrase, prononcée sur un ton irrité, par laquelle, avant de se consoler de leur échec par d'autres moyens, les assujettis à la contribution dite des bénéfices de guerre accueillent la décision de la Commission supérieure qui rejette leur appel.

Les arrêts du Conseil sont évidemment nombreux : ce qui prouve qu'après avoir vu leurs prétentions repoussées par les deux organes de taxation créés par la loi du 1^{er} juillet 1916, les assujettis ont largement fait usage de la phrase qui termine en ces termes l'avant-dernier paragraphe de l'article onzième : « Les décisions de la Commission supérieure ne peuvent être attaquées que pour excès de pouvoir et violation de la loi ». Cette rédaction d'allure restrictive n'a pas été adoptée sans dessein. Elle signifie que le Conseil d'État n'est pas une Troisième Commission, archisupérieure, devant laquelle les plaideurs malheureux seraient recevables à reprendre toutes leurs conclusions.

Dégager les causes que le Conseil d'État a admises comme contenant un vice susceptible d'appeler son attention, montrer, au contraire, la vraie nature de celles dont il se désintéresse en respectant la décision du premier juge, telle est l'étude qui ne pouvait se faire avant d'avoir un faisceau d'arrêts à analyser. Elle s'impose aujourd'hui et elle nous a été réclamée à des points de vue bien différents.

Tout d'abord, on s'est demandé quelle est la signification rigoureuse des deux termes précités. Si l'on imagine facilement des hypothèses dans lesquelles la loi peut avoir été violée, il est plus difficile de comprendre « l'excès de pouvoir » ; et ces deux expressions ne sauraient être synonymes, car le législateur, il faut au moins le supposer, ne les aurait pas réunies.

Sans doute, on pourrait dire que la « violation de la loi » n'est qu'un cas particulier de « l'excès de pouvoir », car une juridiction, quelle qu'elle soit, a pour mission de respecter la loi : transgresser les dispositions de celle-ci c'est évidemment, pour un juge,

oublier son premier devoir et par conséquent dépasser ses pouvoirs. Néanmoins, dans le style judiciaire, on distingue les deux idées : la violation de la loi, c'est l'erreur de droit que commet un juge, soit parce qu'il se trompe dans l'interprétation qu'il donne à un texte spécial, soit parce qu'il oublie les principes généraux que l'on doit appliquer à toute procédure.

L'excès de pouvoir, infiniment plus rare, se produit dans le cas où un juge « sort du domaine purement judiciaire pour empiéter sur le domaine législatif, exécutif ou administratif. » Dans maints arrêts, la Cour de Cassation s'est servie de cette définition de l'excès de pouvoir. Nous la trouvons, pour la première fois, dans un arrêt du 11 mai 1841 (*Dalloz*, 1841, 1 243), et elle se poursuit jusque dans les décisions les plus récentes : c'est une rubrique que l'on répète sans difficulté ; mais il est plus difficile de trouver pratiquement une antithèse bien nette entre l'excès de pouvoir et la violation de la loi. On ne la rencontre guère que dans le domaine de la justice de paix : en effet, d'après l'article 15 de la loi du 23 mai 1838, *l'excès de pouvoir* constitue l'unique motif pouvant servir de base au pourvoi contre un jugement du tribunal de paix, ce qui écarte par là même, comme motif à invoquer, la *violation de la loi*.

Rien ne rend plus frappante cette opposition que l'exemple suivant : si le juge de paix, statuant sur une question d'octroi, soumet, par erreur, à un tarif, un produit qui est justiciable d'un autre, il commet une violation de la loi, parce qu'il en applique inexactement une disposition. Son jugement rendu en dernier ressort est inattaquable devant la Cour suprême (Chambre civile de la Cour de Cassation, 15 janvier 1867, *Dalloz*, 1867, 1, 177, affaire octroi de Bergerac contre Argivier). Au contraire, il y aurait excès de pouvoir, si, en supprimant complètement un tarif légal, le juge de paix lui substituait de simples usages suivis dans la localité : car il ne chercherait même pas à appliquer la loi, il la « créerait », en improvisant un tarif inédit, empiétant ainsi sur l'œuvre du législa-

teur (Chambre civile, 11 mai 1841. *Dalloz*, 1841, 1, 243).

La loi du 1^{er} juillet 1916 ayant réuni dans le même texte les deux idées maîtresses « excès de pouvoir et violation de la loi », cette distinction importe peu. Et il est plus intéressant de se rendre compte des hypothèses pratiquement solutionnées, que de s'éterniser sur des termes juridiques (1).

II. Arrêts de la procédure. — Dans une première catégorie, il faut classer les décisions relatives à de pures considérations de procédure.

Pour la majeure partie, elles sont peu intéressantes ; il en est de même de... lamentables ; par exemple, celle du 3 décembre 1920 (*Dalloz*, 1921, 3, 5) qui déclare irrecevable la requête non écrite sur timbre ! Pour une économie de 2 fr, non intentionnelle évidemment, un assujetti va perdre le bénéfice de la juridiction supérieure ; mais le décret du 12 juillet 1916 s'est inspiré de l'article 12, § 9 de la loi du 13 brumaire, an VII, qui impose la formalité du timbre à toutes pétitions et à tous mémoires présentés aux autorités constituées.

Sans doute, le même décret permet aux contribuables de se pourvoir par une simple lettre faisant connaître à la Commission du premier degré qu'il n'accepte pas sa décision, mais, dit le Conseil d'Etat, une lettre de cette nature et dans de pareilles conditions aurait dû être écrite sur papier timbré !

Il existe d'autres décisions plus sérieuses :

1° L'interdiction de faire valoir devant le Conseil d'Etat des motifs qui n'auraient pas été invoqués devant la Commission supérieure, 12 novembre 1920 (*Dalloz*, 1921, 3, 6).

2° L'impossibilité pour la Commission supérieure, qui est une véritable juridiction (à la différence de la Commission du premier degré qui est un organe de

taxation) de statuer sans que l'assujetti ait eu communication des pièces du dossier, s'il a formellement demandé d'en prendre connaissance (Arrêt du 10 août 1918. *Dalloz*, 1920, 3, 36, première espèce).

3° Mais si l'assujetti n'a pas écrit pour demander communication, la Commission supérieure n'est pas tenue d'aviser l'intéressé qu'il peut lire le dossier de l'affaire. (Arrêt du 14 mai 1920. *Dalloz*, 1920, 3, 37, troisième espèce.) La raison de ces deux dernières décisions et de leur divergence est que la Commission supérieure, constituant une vraie juridiction, ne peut refuser, au justiciable qui lui demande de connaître les pièces sur lesquelles il va être jugé, la communication qu'il sollicite. C'est là un principe de droit commun inhérent à toute juridiction. Mais, d'autre part, le justiciable est le seul appréciateur de l'intérêt qu'il peut avoir à connaître le dossier : il est naturel qu'on lui laisse l'initiative de toute demande : ce n'est pas au tribunal à lui proposer de se déplacer...

4° Cependant, la proposition d'une communication (c'est-à-dire une lettre recommandée enjoignant à l'assujetti de prendre connaissance dans un délai imparti) est absolument de rigueur lorsque le pourvoi émane du directeur des Contributions. Tous les arrêts du Conseil d'Etat le reconnaissent et il ne pourrait d'ailleurs en être autrement, puisque l'article 4 du décret du 12 juillet 1916 visant le cas de ce pourvoi très spécial, impose la communication (voir tous les arrêts cités dans *Dalloz* à la référence indiquée).

5° Il en serait encore ainsi (c'est-à-dire que la communication s'imposerait indépendamment de toute demande de l'assujetti) si la Commission supérieure avait ordonné une mesure d'instruction, par exemple, chargé un inspecteur de lui adresser un rapport : ce document devrait être porté à la connaissance de l'intéressé (4 juin 1920. *Dalloz*, 1920, 3, 37, quatrième espèce).

6° Il est interdit à la Commission supérieure, saisie d'une requête d'un contribuable tendant à abaisser le bénéfice supplémentaire qui a été admis par le premier juge, de profiter de cet appel pour transformer en une décision plus dure, celle qui est attaquée, à moins que le directeur des Contributions directes ait également fait appel de son côté. « En l'absence du recours de ce fonctionnaire, dit l'arrêt, la Commission ne saurait élever le montant du bénéfice imposable, car en l'élevant d'office, elle commet un excès de pouvoir » (8 août 1919, *Dalloz*, 1920, 3, 39, première espèce.)

7° Il lui est interdit également de rejeter, comme tardive, la demande que lui adresse l'assujetti, directement, d'adopter pour le bénéfice normal celui qui forfaitairement est égal au 6 pour 100 ou 8 pour 100 des capitaux engagés, et elle ne saurait se retrancher derrière le prétexte qu'à la Commission du premier degré le contribuable avait déposé une déclaration tendant à accepter le bénéfice normal déterminé par la moyenne des trois années de base (6 août 1920, *Revue des Impôts*, janvier 1921, n° 653).

(1) Pour répondre seulement à une observation, nous sommes obligés de constater que l'on devrait trouver très peu d'arrêts alléguant un « excès de pouvoir », car il est rare qu'un tribunal, quel qu'il soit, empiète sur un domaine qui n'est pas le sien. Or, au contraire, un grand nombre d'arrêts du Conseil d'Etat invoquent comme motif « l'excès de pouvoir » en constatant soit qu'il a été faussement allégué par le demandeur, le pourvoi devant être alors rejeté, soit qu'il a été bien et réellement commis par la commission, ce qui entraîne l'annulation de la décision. Dans cette rédaction, le Conseil d'Etat paraît avoir plutôt sacrifié à une habitude de style. Il juge fréquemment des recours pour excès de pouvoir contre un acte accompli par une autorité administrative qui a froissé un intérêt privé ou porté préjudice au droit d'un particulier. En statuant ainsi, il remplit le rôle dont il est chargé, puisqu'il a, dans ses attributions, le contentieux de l'annulation. Mais l'excès de pouvoir accompli par une autorité administrative ne ressemble que très vaguement à la faute professionnelle que commet un juge qui, non content de ne point statuer conformément à la loi, sort du terrain judiciaire pour statuer par voie réglementaire ou édicter des règles qu'il appliquera lui-même : comme, par exemple, un tribunal qui déciderait dans son jugement : « qu'à l'avenir, il considérera comme légale telle ou telle habitude en remplacement de tel ou tel texte ».

III. Arrêt de compétence. — Il faut accorder une mention toute spéciale à un arrêt qui fixe une très intéressante question de compétence. Le Conseil a décidé que les difficultés susceptibles de se produire, en dehors de la fixation du bénéfice supplémentaire, et notamment les difficultés qui sont relatives à l'émission des rôles, ne rentrent pas dans la compétence de la Commission, ni du premier degré, ni du second degré. Le contribuable qui veut protester contre un avertissement, par exemple parce qu'il le considère comme prématuré, doit porter sa demande devant le Conseil de Préfecture. Cela tient à ce que l'article 16 de la loi du 1^{er} juillet 1916 dit, en effet, que les rôles de la contribution des bénéfices de guerre sont établis et le recouvrement en est poursuivi comme en matière de « contributions directes ». C'est bien laisser à la loi tout entière le caractère essentiel de loi fiscale, dont le contentieux est dévolu au Conseil de Préfecture, sauf pour le cas où des dispositions spéciales ont été édictées ; il est bien évident que rentrent dans ces sortes de dispositions, l'article 7 qui crée une Commission, l'article 8 qui lui confie l'examen des déclarations, l'article 13 et l'article 14 qui fixent les sanctions ; mais les règles du contentieux général, en matière de contributions devront être appliquées sur tous les points qui ne seront pas régis par un article déterminé. Ce n'est d'ailleurs pas la première fois que l'on est amené à établir une séparation très tranchée entre le contentieux de la fixation et celui du recouvrement.

IV. Arrêt de fond. — Sur les moyens que l'on appelle dans le langage judiciaire les moyens de « fond » le Conseil d'Etat paraît avoir admis la distinction suivante :

A. — Toutes les fois que la question litigieuse aura, comme point principal, celui de déterminer la sphère d'application de la loi, le Conseil d'Etat se reconnaîtra nanti d'un pouvoir de contrôle. Il ne s'abstiendra donc pas de juger ; mais il approuvera la décision ou il l'annulera, selon qu'elle lui paraît ou non correspondre au vœu du législateur. *Il a approuvé* par arrêt du 30 janvier 1920 (*Dalloz*, 1920, 3, 45) la décision de la Commission supérieure qui a soumis les médecins à la contribution des bénéfices de guerre, pour la seule raison qu'ils sont patentés et bien qu'ils ne soient pas commerçants. Le simple fait que l'on lui demandait de dire si la loi s'appliquait mettait bien en œuvre ce problème : existe-t-il, dans la décision rendue, une violation de la loi ? *Il a annulé* par arrêt du 20 mai 1919 (*Dalloz*, 1920, 3, 42, 2^e espèce) une décision de la Commission qui avait compris dans le bénéfice d'un commerçant, la mensualité de 50 fr que celui-ci allouait à sa femme en rémunération des services qu'elle rendait au magasin. C'était une question de droit que de savoir si la femme d'un commerçant rentre dans la catégorie des associés et doit être l'objet de l'application de la loi, ou si elle reste dans la catégorie des salariés.

On ne saurait trouver de question plus importante

que celle des sociétés de mines. Rentrent-elles dans la loi, au titre d'assujetties ? C'est certain, puisque l'article premier de la loi du 1^{er} juillet 1916 dit que la contribution sera payée par les exploitants d'entreprises assujetties à la redevance proportionnelle prévue par l'article 33 de la loi du 21 avril 1810. Mais quel sera le bénéfice considéré ? faudra-t-il faire rentrer les sociétés minières dans la grande catégorie des sociétés assujetties qui sont dans l'obligation de prendre les éléments du bilan et de chiffrer par ce moyen leurs bénéfices réels ? Cela semblerait imposé dans une certaine mesure par l'article 5 qui met sur le même rang, les patentés et les exploitants de mines, pour soumettre les premiers comme les seconds à une déclaration basée sur les mêmes éléments.

Faut-il, au contraire, simplement comparer entre elles les sommes qui ont donné lieu à la redevance proportionnelle ? on le croit fermement quand on voit dans l'article 9 (qui détermine les conditions de la taxation d'office) l'indication que cette taxation sera faite en comparant « le produit net servant de base à la redevance proportionnelle et correspondant à chacune des périodes d'imposition à laquelle s'applique la contribution, avec la moyenne du produit net correspondant aux trois exercices antérieurs au 1^{er} août 1914 ». Bien plus, on lit dans le dernier paragraphe de l'article 10 que « pour les entreprises visées au cinquième paragraphe de l'article premier, le bénéfice imposable est établi d'après le produit net servant de base à la redevance proportionnelle ».

Mais la Commission supérieure avait décidé que les passages précités des articles 9 et 10 signifient seulement que l'administration aura à considérer comme un élément d'évaluation cette redevance proportionnelle, sans lui attribuer le sens d'un élément unique de taxation. Le Conseil d'Etat, loin de refuser l'examen du pourvoi l'a étudié (car c'était une question de droit) et a consacré la thèse de la Commission supérieure par un arrêt du 15 juillet 1921 (*Revue des Impôts*, novembre 1921, art. 827).

B. — Au contraire, quand la Commission se livre à des appréciations de chiffres et établit ses calculs, le Conseil d'Etat semble mettre une sorte de... courtoisie juridique à ne pas intervenir : les exemples sont nombreux et d'ailleurs peu rassurants.

Ils ont commencé par un arrêt du 13 décembre 1918, dans lequel on pouvait lire qu'aux termes de l'article onzième de la loi du 1^{er} juillet 1916, les décisions de la Commission supérieure ne pouvant être attaquées que pour excès de pouvoir ou violation de la loi, un assujetti n'est pas recevable à discuter *en fait* l'exactitude de la taxation à la contribution extraordinaire de guerre (*Revue des Impôts*, 1919, n° 441).

Et ils se sont continués à peu près dans la même formule, relativement, par exemple, aux tantièmes alloués à un employé que la Commission supérieure considère comme des bénéfices : simple question de fait !!! répond le Conseil d'Etat le 28 janvier 1921 (*Revue des Impôts*

mars 1921, n° 693), et le 22 juillet 1921 (*loco citato*, novembre 1921, n° 831) ⁽¹⁾.

Le Conseil d'Etat reconnaît encore que, d'après l'article 3 de la loi du 31 juillet 1916, la Commission doit déterminer le bénéfice imposable en tenant compte des bilans de chaque entreprise. Mais ce principe étant rappelé, il trouve très juste que la Commission interprète le bilan des années normales, comme celui des exercices d'imposition, pour mettre en lumière les postes qui constituent de vrais bénéfices, et y intégrer les sommes qui auraient été passées à l'article des charges (5 novembre 1920, *Dalloz*, 1920, 3, 44. 5^e espèce).

Enfin, d'après un arrêt du Conseil d'Etat du 25 février 1921 (*Revue des Impôts*, juil. 1921, n° 738), la Commission supérieure n'est pas tenue, quand elle se trouve en présence d'un exercice ne s'étant pas poursuivi pendant douze mois, de prendre le bénéfice d'après l'inventaire semestriel, pour déterminer mois par mois le bénéfice imposable. Sans doute, il est écrit dans l'article 6 que, quand un exercice n'a pas la durée de l'année grégorienne, le bénéfice imposable sera déduit des bilans; mais cela n'empêche pas la Commission de déterminer légalement pour la fraction d'exercice considérée, le montant exact du bénéfice par tous les moyens permettant de serrer la vérité de plus près.

V. Mentions spéciales accordées à quelques arrêts de fonds. — Comme toujours, il se détache en vedette, certaines décisions, à cause de leur rédaction faite en quelque sorte à l'emporte-pièce par la précision de leurs motifs; nous en donnons une énumération spéciale.

A. — Un pourvoi présenté au Conseil d'Etat avec des arêtes très vives, l'obligeait à répondre à cette question: est-ce le bénéfice d'exploitation qui doit entrer en cause, ou est-ce le bénéfice défini par la différence entre la valeur de l'actif et la valeur du passif? Notamment, quand il y a excédent du prix de réalisation d'un élément isolé de l'actif, par rapport à cette valeur portée au bilan, ledit excédent ne doit-il pas être considéré comme constituant un bénéfice, ou bien, ne faut-il pas réserver cette disposition à la réalisation totale du capital? Par arrêt du 25 novembre 1921 (*Revue des Impôts*, janvier 1922, n° 858), le Conseil d'Etat a admis que le législateur de 1916 avait voulu frapper tous les bénéfices imposables sans distinction de cause, puisque l'article premier ne contient aucune disposition exceptant les bénéfices en capital, et puisque l'article 3 spécifie que le produit net en période de guerre sera calculé d'après le bilan.... Et aucune distinction ne saurait être faite entre les bénéfices provenant de l'aliénation

d'un élément isolé du capital et les bénéfices qui seraient issus d'une réalisation intégrale ⁽¹⁾.

B. — Dans une affaire extrêmement intéressante, un assujetti avait présenté à la Commission supérieure le raisonnement suivant: il n'avait pas pris comme bénéfice normal le taux forfaitaire de 6 ou de 8 pour 100, car, évidemment, rien ne l'y contraignait. Il avait déterminé son bénéfice normal par la moyenne des produits nets réalisés dans le cours des trois exercices antérieurs à 1914; mais il faisait valoir que, précisément, pendant le cours des exercices moyens, il avait augmenté son capital, et que ladite augmentation n'avait joué que fort peu de temps pendant la durée desdits exercices.

Il demandait à la Commission supérieure d'appliquer cette règle démontrée par une pratique à peu près constante que la production et, par conséquent, le bénéfice augmentent en raison du capital engagé; qu'il y avait donc lieu de relever le chiffre du bénéfice moyen d'une somme correspondant à l'augmentation du principal, dans une juste proportion.

A titre subsidiaire, il priait la Commission de considérer l'entreprise comme la résultante de deux composantes: c'est-à-dire de deux industries juxtaposées, l'une déjà ancienne dont le bénéfice serait déterminé par les bilans, et l'autre nouvelle dont le bénéfice serait fixé par le forfait de 6 pour 100 de l'augmentation du capital.

A titre encore plus subsidiaire, il demandait de déterminer le bénéfice normal, par celui qui avait été obtenu dans les exercices de base, pendant la période seulement où le nouveau capital avait joué.

La Commission supérieure s'était refusée à une interprétation de cette nature. Elle a pratiqué le système bien administratif des cloisons étanches qui permettent les solutions remarquables de simplicité et de limpidité et avait décidé que la société doit prendre pour bénéfice ou le taux forfaitaire ou le bénéfice déterminé par la moyenne des exercices indiqués par la loi comme devant être pris comme base.

Le Conseil d'Etat a trouvé, par arrêt du 29 juillet 1921 (*Revue des Impôts*, janvier 1922, article 854), qu'en agissant ainsi, la Commission n'avait en aucune façon violé le texte de la loi et que la question de savoir si vraiment les augmentations de capital avaient entraîné, dans la marche de l'entreprise, des modifications équivalentes à la création d'une entreprise nouvelle, était une question de pur fait sur laquelle il n'appartenait pas au Conseil d'Etat de revenir.

C. — C'est encore une question de fait, que le Conseil d'Etat a résolu de ne pas juger, qui était pendante dans l'affaire qui a donné lieu à son arrêt du 1^{er} juillet 1921 (*Revue des Impôts*, janvier 1922, n° 859). Le Conseil d'Etat déclare que, si l'article 3 de la loi du 1^{er} juillet 1916 commande d'établir le produit net en période

(1) Dans la première de ces deux affaires, il s'agissait de quatre employés dans une maison appartenant à un seul patron, et dans la seconde, d'un directeur d'une société en nom collectif dont le salaire proprement dit a été porté dans les frais généraux seulement pour tout ce qui était inférieur au 10 pour 100 des bénéfices touchés, le solde étant passé en bénéfice.

(1) Nous devons faire remarquer que, d'après le simple bon sens, le bénéfice provenant d'une réalisation ne doit être évalué que d'après la différence entre le chiffre de l'aliénation, d'une part, et, d'autre part, la valeur qu'avait en 1914, date du début de l'imposition, l'élément aliéné.

de guerre en tenant compte du bilan de chaque entreprise suivant les règles propres à cette entreprise, cela veut dire « que les Commissions sont tenues de se conformer aux principes suivis en matière de comptabilité commerciale, sans faire obstacle à ce qu'elles recherchent dans les bilans tous les bénéfices susceptibles d'être imposés et réintègrent dans ces bénéfices les sommes figurant dans les frais généraux, lorsqu'elles estiment que ces sommes doivent être portées non au compte des charges, mais au compte des bénéfices de l'entreprise envisagée ».

Le même arrêt décide que, si l'assujetti demande à amortir ses immeubles à 10 pour 100 et son matériel à 20 pour 100, la Commission peut lui refuser un taux aussi élevé : encore une question de fait et par conséquent d'appréciation.

On voit combien ces questions sont délicates et avec

quelle prudence il faut les juger; tout dépend des espèces : car à côté de ces refus des Commissions d'admettre un amortissement de 10 pour 100 sur un immeuble, on peut citer d'autres décisions dans lesquelles l'amortissement a été intégral pour des travaux neufs faits pendant la durée de l'exercice imposable parce qu'il était justifié que l'assujetti avait l'habitude invétérée, avant la guerre, de toujours amortir lesdits travaux dans le cours d'un exercice (Décision de la Commission supérieure 30 janvier 1920. *Revue des Impôts*, février 1921, n° 678, février, 1921).

On peut également citer une décision de la Commission supérieure du 7 décembre 1917 rendue dans le même sens (*Revue des Impôts*, 1918, n° 195).

Paul BOUGAULT,

Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Arrêt de la Cour d'Appel de Paris concernant le règlement transactionnel.

L'article premier de la loi du 2 juillet 1919 stipule que, « jusqu'à l'expiration des trois années qui suivront la ratification du traité de paix, tout commerçant qui ne peut faire face à ses engagements peut demander à ses créanciers le bénéfice d'un règlement transactionnel ». Faisant une application stricte de ce texte, le présent arrêt, qui confirme un jugement rendu en Chambre du Conseil par le Tribunal de Commerce de la Seine le 26 octobre 1921, décide que seul peut bénéficier dudit avantage le commerçant qui exerce encore son commerce au moment où il forme sa demande. La même règle s'appliquant aux sociétés commerciales (art. 22), il en résulte que le règlement transactionnel ne peut être accordé à une société anonyme en liquidation.

Voici les principaux considérants de l'arrêt de la Cour d'Appel (3^e chambre), rendu en Chambre du Conseil le 17 décembre 1921.

Considérant que la première question à résoudre est celle de savoir si une société en liquidation est recevable à solliciter le bénéfice du règlement transactionnel ;

Or, considérant que le législateur, en édictant les mesures nouvelles insérées dans cette loi, a eu en vue les commerçants dont la situation, prospère en 1914, a été compromise pour une cause quelconque, soit au cours des hostilités, soit pendant le délai de trois années fixé à l'article premier, qu'il a voulu que ces commerçants malheureux et de bonne foi, dans l'impossibilité momentanée de faire face à leurs engagements, pussent, grâce aux dispositions de la loi, traverser cette période critique et grave sans être acculés à la liquidation judiciaire ou à la faillite, soutenir leur industrie pendant le temps indiqué aux propositions acceptées par les créanciers, donner un nouvel essor à leurs affaires et les rétablir ;

Considérant que cette pensée du législateur a été nettement exprimée dans le rapport fait au Sénat, dans lequel le rapporteur a manifesté l'espoir que le commerçant qui bénéficierait du règlement transactionnel y trouverait l'assurance de pouvoir donner à son négoce une impulsion vigoureuse, de façon à se libérer des difficultés qui entravaient ses affaires, et qu'il convenait, dans ce but, d'éviter toute inter-

ruption de son commerce ; que, lors de la discussion de la loi, le dernier alinéa de l'article premier, qui autorisait les héritiers du débiteur à obtenir le concordat, a été supprimé, par le motif non exprimé, mais manifeste, que le décès de ce débiteur mettait fin à l'exercice de son commerce et que le bénéfice du règlement transactionnel ne pouvait être accordé à celui qui avait cessé d'exercer sa profession ; qu'il en est différemment de la disposition insérée à la fin de l'article 2, paragraphe 3 de la loi du 4 mars 1889 sur la liquidation judiciaire, qui ne suppose pas que le débiteur reste nécessairement à la tête de ses affaires ; qu'il en résulte que le législateur a entendu réserver le bénéfice de la loi nouvelle à ceux qui exercent encore leur commerce au moment où ils forment leur demande et que les dispositions de la loi elle-même viennent fortifier cette opinion ;

Considérant, en effet, qu'aux termes de l'article 6, le commerçant continue, avec l'autorisation du juge et sous la surveillance de l'administrateur, l'exploitation de son commerce ou de son industrie ; que la formule dont s'est servi le législateur a un caractère impératif et paraît bien indiquer que, dans son intention, la continuation du commerce constitue une condition essentielle pour obtenir le bénéfice de la loi ; qu'il y a lieu d'observer, d'ailleurs, que le mandataire de justice se borne à contrôler et à surveiller les opérations professionnelles du commerçant, ce qui implique bien pour lui l'obligation de continuer lui-même ses affaires ; qu'il en est tout autrement dans la loi du 4 mars 1889, où le principe est la liquidation, où la continuation du commerce par le débiteur est considérée comme exceptionnelle, et qui spécifie qu'il ne peut agir sans l'assistance du liquidateur ; que cette différence de rédaction des deux textes, voulue par le législateur, ne laisse planer aucun doute sur son intention ;

Considérant que les règles imposées aux commerçants considérés individuellement doivent également être appliquées aux sociétés commerciales, ainsi que cela ressort des termes de l'article 22 de la loi ; que d'autres articles considèrent comme indispensable la continuation de la vie sociale ; qu'ainsi l'article 28 envisage l'exercice du droit des obligataires et les moyens de protection organisés en leur faveur ;

Considérant que, de ce qui précède, il ressort que, aussi bien pour les commerçants que pour les sociétés commerciales, le législateur n'a pas eu en vue ceux qui, en raison de circonstances diverses, ont cru devoir renoncer à leur activité commerciale et ont décidé la liquidation de leur situation ; que, pour ceux-là, qui sont exclus du bénéfice de

la loi du 2 juillet 1919, le législateur a organisé, en 1889, une procédure spéciale plus favorable que celle de la faillite.

Sur l'application de la contribution sur les bénéfices de guerre.

Le « Journal officiel » du 13 janvier 1922 publie, page 25 des « Débats parlementaires, Chambre », les questions et réponses qui suivent.

11447. — M. Justin Godart, député, demande à M. le ministre des Finances si, en matière de bénéfices de guerre, lorsqu'un contribuable a formé régulièrement son pourvoi dans le délai d'un mois de l'avis de décision de la commission du premier degré, il n'est pas en droit, avant que la commission supérieure ait statué, de faire parvenir à cette juridiction un ou plusieurs mémoires supplétifs à annexer audit pourvoi, ainsi, du reste, que le droit en est reconnu devant le conseil de préfecture et devant le Conseil d'Etat pour toutes les autres contributions. (Question du 22 décembre 1921.)

Réponse. — Aux termes de l'article 1^{er} du décret du 12 juillet 1916, les requêtes adressées à la commission supérieure doivent contenir l'exposé des faits et moyens, les nom et domicile des réclamants, leurs conclusions et l'énonciation des pièces dont ils entendent se servir et qui y sont jointes. Il est admis d'ailleurs que dans les mêmes conditions et suivant les mêmes règles que pour les instances introduites devant le Conseil d'Etat en matière de contributions directes, les intéressés peuvent produire des mémoires ampliatifs tant que leur requête initiale ne se trouve pas en état d'être jugée.

11308. — M. Louis Deschamps (Ile-et-Vilaine), député, demande à M. le ministre des Finances si un commerçant qui a été taxé à la contribution des bénéfices de guerre et qui a cédé son fonds de commerce peut être poursuivi et saisi pour obtenir le paiement immédiat desdits bénéfices de guerre alors qu'il a proposé formellement, en garantie, des immeubles non grevés d'hypothèques et qu'il n'a pas encore touché les fonds provenant de la vente de son fonds de commerce; que, de plus, il a versé au percepteur une somme supérieure à celle qu'il reconnaît devoir (Question du 7 décembre 1921.)

Réponse. — 1^o Aux termes des dispositions législatives en vigueur (art. 17 loi du 1^{er} juillet 1916; art. 15 loi du 31 décembre 1918; art. 3 loi du 12 août 1919; art. 19 loi du 25 juin 1920), la cession de l'entreprise dont les bénéfices ont été imposés entraîne dans tous les cas exigibilité immédiate et totale des impositions à la contribution extraordinaire.

Sur l'application de la taxe sur le chiffre d'affaires.

Parmi les questions écrites dont les réponses sont publiées dans le « Journal officiel » du 13 janvier 1922, page 26 des « Débats parlementaires, Chambre », nous relevons les suivantes :

11449. — M. Ernest Lamy, député, demande à M. le ministre des Finances si, en cas de concordat par abandon d'actif et en cas d'union des créanciers, en outre des droits de réalisation de l'actif, la taxe sur le chiffre d'affaires est due par le syndic ou le liquidateur (Question du 22 décembre 1921.)

Réponse. — Si un syndic ou un liquidateur liquide le fonds de commerce d'un commerçant en vendant séparément les marchandises en bloc ou en détail, il continue l'exercice de la profession de ce commerçant et l'impôt sur le chiffre d'affaires est exigible sur le produit de ces ventes. Mais s'il aliène le fonds de commerce avec tous ses éléments, y compris les marchandises en magasin, cette opération, bien qu'elle ait le caractère d'un acte de commerce, ne constitue pas un acte professionnel au sens de la loi du

25 juin 1920 et elle est affranchie de l'impôt institué par l'article 59 de cette loi.

11553. — M. le colonel Picot, député, demande à M. le ministre des Finances si les petits artisans ne payant aucun impôt, travaillant chez eux, seuls, sans le concours d'aucun ouvrier et d'aucun apprenti, sont assujettis à l'impôt de 1.10 pour 100 sur le chiffre d'affaires quel qu'en soit le montant. (Question du 23 décembre 1921.)

Réponse. — En l'état actuel de la législation et conformément à l'article 59 de la loi du 25 juin 1920, rapproché de l'article 13 de la loi du 31 juillet 1917, l'impôt sur le chiffre d'affaires est dû par les ouvriers travaillant chez eux ou chez les particuliers, sans compagnon ou apprenti, soit qu'ils travaillent à façon, soit qu'ils travaillent pour leur compte avec des matières à eux appartenant. On ajoute, toutefois, qu'en attendant le vote définitif du projet de loi ayant pour objet de modifier certaines dispositions relatives à la taxe sur le chiffre d'affaires, adopté par la Chambre des Députés et soumis actuellement à la ratification du Sénat, l'administration n'insiste pas pour le paiement de l'impôt par ceux des artisans qui travaillent chez eux, exclusivement à façon pour le compte d'industriels ou de commerçants leur fournissant les matières premières et qui n'utilisent d'autres concours que celui de leur père et mère, de leurs enfants habitant avec eux ou d'un apprenti de moins de seize ans. (Conf. réponses à M. Courtier, député, *Journal officiel*, 16 novembre 1921, Ch. déb. p. 4031, col. 1 et 24 décembre 1921, Ch. déb. p. 5228, col. 12.)

Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux aux représentants de commerce.

Le « Journal officiel » du 13 janvier 1922 publie, page 13 des « Documents parlementaires, Sénat », la demande et la question suivantes :

4794. — M. Lebert, sénateur, demande à M. le ministre des Finances si les représentants de commerce qui agissent exclusivement pour le compte des maisons qui les occupent, qui n'ont chez eux aucun dépôt de marchandises, qui ne reçoivent aucun client et ne facturent pas eux-mêmes les marchandises vendues, peuvent être assujettis à la patente et à l'impôt sur les bénéfices commerciaux. (Question du 12 décembre 1921.)

Réponse. — La situation des intermédiaires de commerce au regard de la contribution des patentes et des impôts cédulaires sur les revenus est la suivante.

Ils doivent, en principe, être assujettis à la patente et c'est seulement dans le cas où, placés sous l'étroite dépendance des maisons qui les occupent, ils ne sont que les simples employés desdites maisons, qu'ils peuvent en être affranchis par application des dispositions de l'article 17 de la loi du 15 juillet 1880 concernant les commis.

En ce qui concerne les impôts cédulaires sur les revenus, ils doivent être considérés comme exerçant une profession commerciale et soumis, par suite, à l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux lorsque, prêtant leur entremise pour l'achat ou la vente de marchandises sans être liés par aucun engagement, ils perçoivent indifféremment une commission de l'acheteur ou du vendeur ou lorsque, opérant sur l'ordre et pour le compte d'autrui, ils agissent sous leur responsabilité.

Lorsqu'ils opèrent pour le compte d'une ou plusieurs maisons sans s'engager eux-mêmes et qu'ils sont exclusivement rémunérés par ces maisons ils doivent être considérés, s'ils conservent la liberté de leurs agissements, comme exerçant une profession non commerciale et taxés au titre de l'impôt qui frappe les bénéfices des professions de cette catégorie.

Lorsqu'ils ne sont, enfin, que de simples employés des maisons qui les occupent, les intermédiaires de commerce doivent être soumis, en qualité de salariés, à l'impôt sur les traitements et salaires.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité
réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N^o 9.

4 MARS 1922.

Chronique. — Sur la possibilité d'exportation en Espagne du petit matériel électrique à usages domestiques. — Société amicale des anciens Elèves des Ecoles nationales professionnelles. — Les conférences-rapports sur la physique. p. 297-298.

Section scientifique et technique. — La constitution de l'atome, par L. BRUNINGHAUS, p. 299. — Sur la mesure des isollements par la méthode dite d'accumulation, par H. CHAUMAT, p. 309. — Note sur la propagation des ondes dans les transformateurs, par H. MASSING, p. 310. — Revues, analyses et informations : La désintégration artificielle des éléments légers, p. 311.

Section industrielle. — Sur l'utilisation de l'énergie des marées, par A. DEFOUR, p. 313. — Les redresseurs à vapeur de mercure avec considération particulière du courant inverse, par Charles JOTTE, p. 322. — Revues, analyses et informations : Essais d'échauffement des câbles, p. 324; L'interconnexion des stations centrales, p. 326.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris, p. 329; Omnium Lyonnais, p. 330; Est-Lumière (Compagnie d'Électricité de l'Est-Parisien), p. 331.

Section de législation. — La concurrence déloyale, par FERNAND-JACQ, p. 333. — Législation, jurisprudence, réglementation : Sur l'interprétation des mots : « Interruption non justifiée » dans les contrats de concession, p. 335; Sur l'assujétissement au droit de timbre des accusés de réception des chèques, p. 335; Sur le recouvrement de l'impôt sur les salaires par les patrons, p. 336; Sur l'application de la contribution sur les bénéfices de guerre, p. 336; Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices commerciaux des assujettis à la contribution sur les bénéfices de guerre, p. 336.

Sur la possibilité d'exportation en Espagne du petit matériel électrique à usages domestiques.

— Nous recevons d'un de nos lecteurs, ingénieur français résidant en Espagne, la lettre suivante par laquelle il attire l'attention des constructeurs sur la possibilité de placer en Espagne du matériel électrique pour usages domestiques.

Le malaise économique qui sévit sur le monde entier depuis 1918 s'est fait sentir particulièrement sur les distributions d'énergie électrique. Dans les pays belligérants et ceux qui travaillaient pour eux, la signature de l'armistice a amené, par suite de la résiliation des contrats de guerre, une diminution notable de la charge des secteurs de distribution; cette diminution s'est accusée encore plus fortement au cours de 1920.

Les sociétés de distribution ont donc été amenées à faire une active propagande en vue d'intensifier la consommation d'énergie électrique par le développement des applications de l'électricité.

Certains constructeurs de matériel ont su profiter de cette situation et ont tourné à leur avantage la publicité des secteurs de distribution. C'est ainsi qu'en Espagne les sociétés de distribution ont reçu d'une importante maison de constructions la lettre suivante :

« En qualité de constructeurs et vendeurs de toutes catégories de matériel électrique, nous nous proposons de faire durant cette année une propagande intensive dans le but de généraliser les emplois de l'électricité aux usages domestiques et dans la petite industrie.

» Comme l'affaire qui nous occupe vous intéresse sûrement, attendu que d'elle dépend l'importance de la vente

d'énergie, nous serions heureux que vous nous prêtiez votre aide et sommes à votre entière disposition pour vous remettre toutes notices et devis concernant notre matériel.

» Nous nous permettons spécialement d'appeler votre attention sur l'emploi d'appareils de chauffage électrique, électro-pompes, petits moteurs pour usages domestiques, fers à repasser, ventilateurs, petits moteurs pour machines agricoles qui, la plupart du temps sont actionnées à bras en Espagne, appareils de stérilisation par l'ozone pour eau potable et laveuses mécaniques, installations pour électrolyse de l'eau (fabrication de l'oxygène et de l'hydrogène), galvanoplastie, nickelage, argenture, dorure, cuivrage, etc., installations de blanchiment, fabrication de chlorure, perceuses électriques, machines « Elmo », tours à bois, meules émeri, scies circulaires, etc.

» Le prix et la faible consommation d'énergie de tous ces appareils et installations que nous venons d'indiquer font qu'aujourd'hui il est possible d'augmenter considérablement et rapidement la consommation d'énergie électrique.

» Dans notre magasin de la rue..... nous avons une exposition d'appareils où les clients qui nous feront l'honneur d'une visite pourront se rendre compte des avantages de nos articles.

» A votre entière disposition,.... »

Naturellement la maison en question est une des plus importantes firmes allemandes. Le moyen de publicité est bon et montre que l'Allemagne fait (d'ailleurs avec succès) des efforts pour reprendre sa place sur les marchés mondiaux et particulièrement en Espagne.

J'ai pensé que ce fait ne laisserait pas indifférents les constructeurs français et c'est pourquoi je vous le signale.

Veuillez agréer,...

Ch. LEDOUX.

Société amicale des anciens Elèves des Ecoles nationales professionnelles : Conférence du 19 février 1922. — Dimanche 19 février, a eu lieu, dans la salle de la Société de Géographie, une conférence organisée par la Société amicale des anciens Elèves des Ecoles professionnelles, intitulée « L'Art et le Fer » et faite par M. E. Brandt, ferronnier d'art, frère du directeur de la maison Brandt et Fouilleret.

Après avoir montré par des projections en quoi consiste le travail du fer, le conférencier s'est attaché à développer cette idée : la France, ne peut, pour diverses raisons d'ordre économique, espérer conquérir les marchés mondiaux par la quantité des produits industriels qu'elle fabrique; elle doit dès lors chercher plus que jamais à les conquérir par la qualité de ces produits, en utilisant et développant le goût artistique inné de ses ouvriers et de ses techniciens. M. Brandt se trouve ainsi amené à conclure que la copie indéfinie des styles anciens, que nos concurrents étrangers sont capables d'exécuter à meilleur compte que nous en prenant leurs modèles dans nos musées, ne peut nous permettre de maintenir la suprématie que nous avons acquise par le bon goût et le fini de nos produits; qu'il faut par suite s'orienter sans détour vers la recherche d'un « style moderne » s'adaptant aux modifications qu'ont subies nos mœurs et nos besoins.

Dans la seconde partie de sa conférence M. E. Brandt montre par l'exemple du fer l'évolution qui s'est graduellement accomplie dans le travail de ce métal en vue de son application à la décoration et à la construction.

A la suite de cette conférence, M. Gaston Vidal, sous-secrétaire d'Etat à l'Enseignement technique, qui présidait la séance, a rappelé les efforts déjà faits en France, par le gouvernement en vue de développer, soit par l'enseignement dans les écoles nationales, soit par des expositions comme l'Exposition des Arts décoratifs qui doit avoir lieu prochainement, le sens artistique des ouvriers et des techniciens. Il faut, ajoute-t-il, que ces efforts soient systématiquement poursuivis, mais il faut aussi que, en raison de notre situation financière, la charge n'en soit pas laissée entièrement à l'Etat. Il faut au contraire que le mouvement parte des milieux industriels et que ceux-ci, par l'intermédiaire de leurs syndicats, créent les organes qui leur manquent, ainsi que l'on fait récemment les syndicats de la meunerie en créant l'Institut de la Meunerie destiné à former des ingénieurs spécialisés, et à qui l'Etat a prêté un large concours.

Les Conférences-rapports sur la physique : Séance des 14 et 21 février 1922. — Au cours de ces deux séances, M. Maurice Leblanc fils, fit une communication sur l'arc électrique. Après avoir indiqué le rôle important joué par l'arc électrique dans beaucoup d'applications de l'électrotechnique et insisté sur l'intérêt qu'ont les techniciens à connaître ses propriétés, soit pour pouvoir en tirer le maximum d'effets utiles quand il est utilisé dans des buts industriels, soit pour pouvoir limiter ses effets destructeurs quand il se produit accidentellement, le conférencier s'excuse, étant donnée l'ampleur du sujet et le désir qu'il a eu de le traiter aussi complètement que possible, de ne pouvoir, au cours de ces deux conférences, n'en donner qu'une sorte de résumé.

Le début de la première partie est consacrée à un rappel des différentes formes que peut prendre la décharge dans les gaz, qui présentent des caractères communs avec l'arc et qui souvent précèdent son établissement.

Le conférencier passe ensuite à l'étude de l'arc en général qui est caractérisé par l'existence :

a) D'une cathode portée à une température suffisamment élevée pour émettre des électrons; b) au voisinage de celle-ci d'une chute de potentiel dans laquelle les ions positifs acquièrent une vitesse suffisante, pour pouvoir, par leurs chocs, maintenir la cathode à l'incandescence; c) le plus souvent d'une température suffisamment élevée du milieu gazeux qui sépare les électrodes.

Il montre que, quoique permettant d'arriver à une compréhension plus claire, l'analyse mathématique complète des phénomènes qui accompagnent la décharge dans les gaz ne conduit pas à la découverte de lois nouvelles ni à des résultats utilisables pratiquement : à ce dernier égard cependant la théorie de Simon, qui ne pousse pas aussi loin l'analyse des phénomènes, fait exception.

La première partie se termine par l'étude de l'action d'un champ magnétique sur l'arc et du transport de matière dans l'arc.

La deuxième partie est consacrée aux différents aspects sous lesquels se présente l'arc.

Le conférencier s'occupe d'abord de l'arc à courant continu entre charbon, dont la connaissance est due surtout aux travaux de M. Blondel et de M. Ayrton.

L'étude des caractéristiques de l'arc conduit à celle de ses conditions de stabilité et en particulier à l'arc sifflant. Celle du cratère anodique est liée à celle du rendement lumineux.

L'auteur indique ce qu'on doit entendre par force contre-électromotrice et résistance négative de l'arc et termine l'étude de l'arc entre charbons par celle de l'arc à flamme.

Après être passé rapidement sur l'arc à courant continu entre électrodes métalliques dans l'air, l'auteur consacre une partie plus importante à l'arc à vapeur de mercure qui est une forme d'arc particulièrement simple et permettant une vérification plus aisée des considérations théoriques émises précédemment.

Il étudie ensuite l'arc alternatif, dont les caractères essentiels ont été découverts par M. Blondel sur l'arc entre charbons et vérifiés par M. Darmon et Maurice Leblanc fils pour l'arc à mercure, c'est-à-dire l'existence d'une période d'extinction à chaque demi-période et d'une pointe dans la courbe de tension entre électrodes au moment du rallumage.

Les propriétés de l'arc dyssymétrique découlent immédiatement de celles de l'arc alternatif entre électrodes identiques.

La troisième partie est consacrée aux applications techniques de l'arc électrique :

1° L'arc comme source de lumière et comme source de radiations ultra-violettes, particulièrement les projecteurs de grande intensité;

2° Le four électrique à arc avec, comme cas particuliers, le four Birkeland et le four Weintraub;

3° La soudure électrique par arc;

4° L'arc chantant et son application à la production des oscillations de haute fréquence; l'arc Poulsen;

5° L'arc considéré comme accident, son rôle dans la commutation (flash); l'arc de rupture dans les interrupteurs dans l'air ou dans l'huile, les limiteurs de tension, etc.

6° L'arc redresseur de courant.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

La constitution de l'atome

L'article ci-dessous est le résumé d'une conférence très intéressante faite par M. E. Bauer devant la Société de Chimie-Physique. Après avoir rappelé les hypothèses initiales sur la structure de l'atome, on montre comment l'expérience a imposé l'atome dynamique, à électrons mobiles autour d'un noyau positif dense. On étudie ensuite la structure probable des différents atomes, le mécanisme d'émission des séries spectrales par les atomes les plus simples (théorie de Bohr), enfin le rayonnement émis par les couches profondes d'électrons planétaires. La lecture de cet article est indispensable à toute personne qui désire comprendre les progrès de ces questions à l'ordre du jour de la science et dont l'évolution est si rapide, en ce moment, que les travaux récents deviennent des énigmes indéchiffrables au lecteur non initié.

Introduction. — Les années 1911-1912 peuvent être considérées comme marquant le début d'une ère nouvelle au point de vue de l'état de nos idées sur la structure de la matière.

Avant cette époque, les efforts des physiciens avaient porté sur le domaine extérieur à l'atome, et sur l'atome lui-même, en tant que configuration extérieure. A cette date s'ouvre, on peut dire, le *domaine intérieur de l'atome*, à la suite des résultats de travaux importants de Rutherford, de la découverte de la nature véritable des rayons X (lumière à très courte longueur d'onde), de la classification rationnelle des corps radioactifs.

Depuis, on s'est attaché à explorer ce domaine nouveau, et avec un succès surprenant dont résulte aujourd'hui une marche presque révolutionnaire de la science. Non seulement on a réussi à *disséquer* l'atome, au moins dans les grandes lignes de sa structure, mais on commence à s'attaquer au cœur même de ce domaine, le noyau atomique, réduit central dix mille fois plus petit que l'atome lui-même!

Il importe donc à toute personne s'intéressant aux sciences physiques d'avoir une idée d'ensemble claire de l'état actuel de la question, pour être à même de suivre sans efforts les progrès futurs, qui s'annoncent rapides et brillants.

Rappelons, d'abord, pour fixer les idées sur les dimensions relatives, quelques nombres connus :

Une molécule-gramme d'un corps quelconque comprend environ $7 \cdot 10^{23}$ molécules.

Le diamètre des atomes varie entre 1 et 5 dix-millionièmes de millimètre.

L'électron possède une charge électrique négative de $4,78 \cdot 10^{-10}$ U. E. S.; sa mesure est égale à $\frac{1}{1847}$ fois

celle de l'atome d'hydrogène; son rayon, beaucoup plus petit que celui des atomes, est probablement de l'ordre de $2 \cdot 10^{-13}$ cm.

Le noyau de l'atome d'hydrogène possède une charge égale et de signe contraire à celle de l'électron : c'est ce

qu'on appelle la charge positive élémentaire. Il est 1846 fois plus lourd que l'électron, mais encore beaucoup plus petit que ce dernier.

Premières hypothèses. — Après la découverte de l'électron, les physiciens ont cherché à se faire une idée de la constitution des atomes. Deux théories se sont présentées : l'une statique (Lord Kelvin), l'autre dynamique (J. Perrin) (1901-1902). Pour J. Perrin, les électrons étaient comparables à des planètes gravitant autour du noyau positif, qui les attire en raison inverse du carré des distances. Il y a bien possibilité d'équilibre entre la force centrale et la force centrifuge. Cependant, cette manière de voir conduisait à un atome *instable*, du fait de l'amortissement du mouvement des électrons par émission d'énergie (ondes électromagnétiques), à chaque changement de vitesse, en grandeur ou direction : les électrons finiraient par tomber inertes sur le centre positif.

C'est à cet insuccès qu'est due, en partie, la faveur dont a joui quelque temps auprès des physiciens la théorie de Lord Kelvin et de J.-J. Thomson.

La masse électrique positive de l'atome est une sphère de densité électrique constante et dont le diamètre est égal à celui de l'atome. Dans cette masse flottent les électrons, qui se repoussent, mais qui sont attirés vers le centre de la sphère par des forces proportionnelles à la distance au centre. L'équilibre stable est possible.

Selon le nombre des électrons, on peut concevoir dans ce modèle d'atome diverses figures d'équilibre, et on retrouva assez bien les divers atomes connus, et leurs relations mutuelles. A ce propos, la question se pose de savoir comment on put atteindre expérimentalement ce nombre d'électrons contenus dans chaque atome. C'est l'observation du pouvoir diffusif des divers corps simples pour les rayons X qui donnera à cet égard des renseignements précis : de même que les molécules gazeuses recevant la lumière du soleil

diffusent celle-ci proportionnellement à leur nombre, de même les rayons X, de longueur d'onde beaucoup plus courte que la lumière visible, sont diffusés par les électrons proportionnellement au nombre total des électrons rencontrés et, par conséquent, au produit du nombre des atomes rencontrés par le nombre des électrons contenus dans chaque atome. C'est par ce procédé que l'on put constater que le nombre N_a d'électrons contenus dans chaque atome est égal à la moitié de sa masse atomique. Et, comme les atomes sont électriquement neutres, N_a doit représenter aussi le nombre de charges élémentaires e dont l'agglomération constitue la sphère positive.

Cette grandeur fondamentale N_a , mesurée ainsi, porte le nom de *nombre atomique*. Sa détermination donne une grande importance historique à la théorie de Lord Kelvin, malgré l'inexactitude de celle-ci.

L'atome de Rutherford. — C'est à cette époque (1906-1909) que Rutherford découvrit un agent autrement puissant que les rayons X pour explorer l'intérieur des atomes : les rayons α . On sait que les rayons α , projetés dans l'espace par la désintégration de certains atomes radioactifs, sont constitués par des atomes d'hélium portant deux charges positives, He^{++} , animés d'énormes vitesses, 20000 km : s. L'énergie cinétique de ces lourdes particules est donc considérable, et on prévoyait qu'elles pourraient traverser la sphère positive des atomes d'un gaz sans grand changement de leur trajectoire. Et, en effet, tout d'abord on constata que les trajectoires se présentaient, en général, avec une forme presque rectiligne. Cependant, un examen plus attentif conduisit, dans certains cas, à un résultat tout autre et inattendu. Sur quelques rares trajectoires, on observe un brusque changement de direction, atteignant parfois 120° , ce qui correspond à un retour en arrière de la particule α . Cette réflexion de la particule ne saurait s'expliquer par choc contre un électron, beaucoup trop léger pour cela. Il faut donc admettre la rencontre entre la particule et *quelque chose* dont la masse est du même ordre de grandeur que la sienne. Ce quelque chose ne peut être que la partie positive de l'atome. Comme du reste ces changements de direction importants sont très rares, c'est que cette masse positive a un très faible volume. On se trouve donc ramené, par la force des choses, à la conception de Perrin. On a pu du reste déduire, d'après la façon dont les angles de déviation se répartissent entre les diverses trajectoires, une limite supérieure du *diamètre des noyaux atomiques*.

Nous résumerons l'ensemble des résultats expérimentaux de la façon suivante :

1° Les atomes sont des systèmes planétaires; la charge positive est concentrée en un noyau très petit, dont le diamètre varie de $3 \cdot 10^{-13}$ cm pour l'hélium, à $3 \cdot 10^{-12}$ cm pour l'or.

2° Les actions répulsives entre particules α et noyaux varient en raison inverse du carré des distances : ce sont des répulsions électrostatiques.

3° La masse de l'atome est concentrée presque tout entière dans le noyau, les électrons n'en portant qu'une faible part.

4° La charge électrique du noyau mesurée directement est bien égale au nombre atomique de l'élément correspondant. Par exemple on a :

| Élément. | Masse atomique. | Nombre atomique. | Charge du noyau. |
|----------|-----------------|------------------|------------------|
| Cu | 63,57 | 29 | 29,3 e |
| Ag | 108,88 | 47 | 46,3 e |
| Pt | 195,2 | 78 | 77,4 e |

Tous ces faits ont un tel caractère persuasif, qu'ils ont été universellement admis. Nous verrons plus loin comment on peut répondre à l'objection émise plus haut sur l'instabilité de l'atome dynamique.

La classification périodique. — Reste à déterminer comment sont répartis ces matériaux, noyau et électrons, qui constituent l'atome. La réponse à cette question résulte surtout de la considération des propriétés chimiques des atomes, exprimées sous la forme résumée que présente la classification périodique des éléments. Ce paragraphe ne saurait être lu avec fruit qu'en ayant sous les yeux le tableau correspondant, que nous reproduisons ci-contre. On sait comment ce tableau est obtenu : on ordonne les corps simples par masses atomiques croissantes. On retombe alors périodiquement sur des atomes ayant les propriétés d'atomes déjà rencontrés. La table est disposée de sorte que les atomes de mêmes propriétés se retrouvent sur une même colonne verticale : on constitue ainsi les groupes allant de 0 à VIII.

Avant d'aller plus loin, il y a lieu de faire d'abord quelques remarques :

1° Certains éléments n'occupent la place qui leur revient d'après l'ensemble de leurs propriétés chimiques que grâce à des inversions dans l'ordre normal de formation du tableau. Ainsi, K d'après sa masse atomique devrait être dans le groupe 0, A dans le groupe I. On a dû enfreindre la règle pour les mettre à leur vraie place. Même remarque pour I et Te. Ces *exceptions*, fort gênantes, vont disparaître tout à l'heure.

2° Les périodes (lignes horizontales) du tableau ne sont pas égales. La période 0 (hydrogène) n'a qu'un seul terme. Les périodes 1 et 2 en ont 8. Les périodes 3 et 4 sont plus longues : 18 éléments. Cependant leurs premiers et derniers termes sont très voisins des termes correspondants des deux périodes précédentes; les autres termes (encadrés de pointillés) manifestent des divergences. La période 5 est plus longue encore; en particulier, les cases des groupes III et IV sont occupées, non par deux, mais par seize éléments, les métaux rares. La sixième période, qui paraît normale, s'interrompt brusquement à l'uranium : on doit considérer ce dernier fait comme simplement accidentel. Les éléments qui suivent U sont probablement forte-

Classification périodique des éléments.

| PÉRIODES | GROUPE 0 | GROUPE I | GROUPE II | GROUPE III | GROUPE IV | GROUPE V | GROUPE VI | GROUPE VII | GROUPE VIII |
|----------|----------------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------------|
| 0 | | 1) H 1,008 | | | | | | | |
| 1 | 2) He 4,00 | 3) Li 6,9 7,0 | 4) Cl 9,1 | 5) B 10,0 11,0 | 6) C 12,0 | 7) N 14,01 | 8) O 16,00 | 9) F 19,00 | |
| 2 | 10) Ne 20,0 22,0 | 11) Na 23,00 | 12) Mg 24,0 25,0 26,0 | 13) Al 27,1 | 14) Si 28,0 29,0 | 15) P 31,04 | 16) S 32,06 | 17) Cl 35,0 37,0 | |
| 3 | 18) Ar 40,00 36,00 | 19) K 39 41 | 20) Ca 40,07 | 21) Sc 44,1 | 22) Ti 48,1 | 23) V 51,0 | 24) Cr 52,0 | 25) Mn 54,93 | 26) Fe 55,84 27) Co 58,97 28) Ni 58,68 |
| 4 | 36) Kr 78,80 82,83 84,86 | 37) Rb 85 7 | 38) Sr 87,83 | 39) Y 87,7 | 40) Zr 90,6 | 41) Nb 93,5 | 42) Mo 96,0 | 43) — | 44) Ru 101,7 45) Rh 102,9 46) Pd 106,7 |
| 5 | 54) Xe 129 131 132 134 135 | 47) Ag 107,88 | 48) Cd 112,40 | 49) In 114,8 | 50) Sn 118,7 | 51) Sb 120,2 | 52) Te 127,5 | 53) I 126,92 | |
| | | 55) Cs 132,81 | 56) Ba 137,37 | 57) à 72) Métaux rares. | | 73) Ta 181,5 | 74) W 184,0 | 75) — | 76) Os 190,9 77) Ir 193,1 78) Pt 195,2 |
| 6 | 86) Em 218 220 222 | 79) Au 197,2 | 80) Hg 197 à 204 | 81) Tl 204 à 210 | 82) Pb 206 à 214 | 83) Bi 208 à 214 | 84) Po 210 à 218 | 85) — | |
| | | 88) Ra 222 à 228 | 89) Ac 226 à 238 | 90) Th 226 à 234 | 91) U 238 à 234 | 92) U 238 à 234 | 93) Pa 231 à 234 | 94) Th 232 à 234 | |

Nota. — Dans ce tableau, les nombres placés à gauche des symboles des éléments sont les nombres atomiques *N_a*, les nombres situés à droite sont les masses atomiques.

ment radioactifs, et ne doivent exister en proportion sensible que dans les profondeurs de la terre. Quant aux autres faits (périodicité variable), il faut avouer que la cause n'en est pas encore connue.

C'est pourquoi nous limiterons la discussion aux deux premières périodes, qui suffiront du reste pour nous donner les renseignements essentiels sur la structure des atomes. Considérons donc les propriétés chimiques fondamentales des corps contenus dans les périodes 1 et 2. Ces propriétés se manifestent par trois caractères que l'on s'accorde à considérer comme pri-

mordiaux; ce sont : 1° La capacité de combinaison avec les atomes électronégatifs (du type Cl, O), ou *valence électropositive*; 2° La capacité de combinaison avec les atomes électropositifs (H, Na, etc.), ou *valence électronégative*; 3° Le signe et la grandeur de la charge que portent les ions correspondants, dans les solutions électrolytiques. Pour discuter commodément, considérons le tableau suivant, qui résume l'ensemble de ces trois caractères.

(Certains éléments présentent des valences variables; on considère dans ce cas la valence maximum).

Les valences dans les deux périodes 1 et 2.

| GROUPES → | 0 | I | II | III | IV | V | VI | VII |
|-----------------------------------|------|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|
| Valences électropositives. | | Li Cl Li ⁺ O | Mg Cl ² Mg O | Al Cl ³ Al ³⁺ O ³ | C Cl ⁴ CO ² | N Cl ⁵ N ⁵⁺ O ⁵ | S F ⁶ SO ³ | ClO ⁷ |
| Caractères des oxydes saturés. | | Bases fortes. | Bases fortes. | B. ou ac. faibles. | Acides faibles. | Acides forts. | Acides forts. | Acides forts. |
| Leur stabilité. | | Très stables. | | Stabilité décroissante → | | | | |
| Valences électronégatives. | | | | | CH ¹ Si H ⁴ | NH ³ PH ³ | OH ² SH ² | FH ClH |
| Caractères des hydrures saturés. | | | | | Neutres. | Basiques ou neutres. | Ac. faibles ou neutres. | Acides forts. |
| Leur stabilité, | | ← Stabilité décroissante. | | | | | Stables. | Très stables. |
| Ions dans les solutions aqueuses. | | Li ⁺ Na ⁺ | Gl ⁺⁺ Mg ⁺⁺ | Al ⁺⁺⁺ | | | O ⁻⁻ S ⁻⁻ (rares) | F ⁻⁻ Cl ⁻⁻ |

On peut constater sur ce tableau que les valences des éléments suivent, dans l'ensemble, des lois simples.

1° Le nombre des valences électropositives est égal au numéro d'ordre du groupe. A mesure qu'il augmente, la netteté du caractère positif et les affinités correspondantes diminuent.

2° Le nombre des valences électronégatives est obtenu en retranchant de 8 le numéro d'ordre du groupe. A mesure qu'il augmente, la netteté du caractère négatif et les affinités correspondantes diminuent.

3° Le nombre total des deux sortes de valence est donc constant, et égal à 8.

4° Les ions correspondant à chaque atome comportent autant de charges élémentaires, positives ou négatives, que la valence correspondante, électropositive ou électronégative, contient d'unités.

Ces faits conduisent immédiatement à la structure de l'atome. D'après 4°, nous voyons que les valences électropositives correspondent à la tendance de l'élément considéré à acquérir des charges positives élémentaires, ce qui veut dire perdre des électrons. Le

nombre d'électrons que l'atome peut perdre mesure sa valence électropositive. Proposition réciproque pour les éléments à valence électronégative : ils tendent à gagner des électrons, dont le nombre mesure la valence correspondante. Ces conclusions sont corroborées par l'ensemble des propriétés des métaux, qui s'interprètent par une perte aisée d'électrons (conductivité électrique, pouvoir réflecteur, action de la lumière ultra-violette, de la chaleur, du contact avec d'autres éléments).

Ainsi, nous devons considérer toute valence positive comme due à un électron qui tend à s'écarter du reste de l'atome et à lui laisser une charge positive. Cet électron est donc situé à la périphérie de l'atome. D'où autant d'électrons périphériques que le numéro d'ordre du groupe dont fait partie l'élément contient d'unités.

En passant d'un élément au suivant d'une même période, le nombre d'électrons augmente d'une unité. Il s'ensuit donc l'adjonction d'une charge positive élémentaire dans le noyau (l'atome doit rester neutre). Le

nombre atomique, mesuré par le nombre d'électrons entourant le noyau, ou par le nombre de charges positives du noyau, *augmente donc d'une unité en passant d'un élément au suivant.*

Voyons les valences négatives. Elles correspondent réciproquement à une place libre pour un électron. La somme des deux valences étant égale à 8, il en résulte que la région périphérique de l'atome est *saturée* (valence nulle) lorsqu'elle contient 8 électrons.

Ajoutons donc un électron (et par conséquent une charge positive au noyau) au fluor, on a le néon, saturé, inerte chimiquement et très stable. Un électron de plus se place à l'extérieur de la couche stable de 8 électrons du néon, on a un élément à une valence électropositive, le sodium. Par addition successive de six nouveaux électrons, on arrive au chlore, à une valence négative. Un de plus donne l'argon : nouvelle couche stable de 8 électrons. Un de plus donne le potassium, etc. Et nous comprenons maintenant le sens profond de cette périodicité des propriétés chimiques, découverte par Mendéléïeff. Deux atomes auront mêmes propriétés si leurs couches périphériques sont formées chacune du même nombre d'électrons.

En définitive, la structure des atomes nous apparaît des plus simples : un noyau central positif ; autour, des couches successives de 8 électrons qui se recouvrent les unes les autres comme des pelures d'oignons.

Le sens de l'affinité chimique est la tendance que possèdent les couches superficielles de deux atomes à se compléter jusqu'à ce nombre 8 qui représente la stabilité maximum.

Cette représentation repose sur l'étude des deux premières périodes. On ne saurait l'étendre sans risque d'erreur à la période 6, la plus éloignée. Fort heureusement, des considérations d'une toute autre nature conduisent, pour les atomes lourds, exactement aux mêmes conclusions. Ici, c'est le noyau qui, par son explosion, nous dévoile ses propriétés (radioactivité).

On sait que la radioactivité consiste dans une désintégration de l'atome. Ce phénomène suit des lois très simples. L'atome qui se désintègre peut perdre, soit une particule α (He^{++}), soit un électron (rayon β), mais un électron provenant du noyau (électron *nucléaire*), et animé d'une énorme vitesse (par exemple 290 000 km : s).

En perdant une particule α (He^{++}), le noyau perd deux charges positives élémentaires. Son nombre atomique N_a doit, d'après ce qui précède, diminuer de deux unités. Le nouvel atome doit se classer dans l'avant-dernière case du tableau périodique, qui précède celle de l'atome explosé. C'est ce qui se vérifie toujours : le radium, alcalino-terreux, groupe II, se transforme en émanation, gaz rare, groupe 0.

Inversement, la perte d'un électron par le noyau accroît sa charge d'une unité. N_a augmente d'une unité. L'atome obtenu doit avancer d'une case dans le tableau. Et en effet, considérons, par exemple, l'uranium I. Il se désintègre en émettant une particule α , et don-

nant l'uranium X, qui a donc reculé de deux cases vers la gauche. Celui-ci se désintègre ensuite deux fois, en émettant chaque fois un électron nucléaire (rayon β). Or le produit final, l'uranium II, se retrouve dans la même case que l'uranium I.

Ainsi, d'un bout à l'autre de la série des éléments, le nombre atomique augmente d'une unité lorsqu'on passe d'un élément au suivant. Reste à fixer ces nombres en valeur absolue, c'est-à-dire à numérotter l'hydrogène et l'hélium.

He précède à coup sûr Li. Il est certain, d'autre part, qu'il possède deux électrons : c'est la charge des particules α . Pour He, $N_a = 2$. De même, on n'a jamais pu observer d'ion H à plus d'une charge positive. Donc, pour H, $N_a = 1$.

Ceci montre en outre que la première couche électronique stable, qui correspond à He de valence nulle, est formée de deux électrons seulement, au lieu de 8 pour les couches stables suivantes.

En résumé, les noyaux des premiers éléments H, He, Li, portent respectivement une, deux, trois... etc., charges élémentaires positives. Et on peut énoncer la loi fondamentale suivante :

Le nombre atomique d'un élément est égal au numéro d'ordre qu'il porte dans la classification de Mendéléïeff.

Ainsi, la grandeur essentielle qui ordonne les éléments, ce n'est pas la *masse atomique*, mais bien le *nombre atomique*, et par conséquent la *charge nucléaire*. Nous comprenons maintenant l'origine des inversions mystérieuses signalées plus haut : K vient après A, et I après Te, parce que le nombre atomique de K est supérieur d'une unité à celui de A ; de même pour I et Te.

Ceci nous conduit à aborder la question des *isotopes*. Considérons deux atomes de masses atomiques différentes, mais de mêmes charges nucléaires. Ils auront alors un nombre identique d'électrons, et, d'après ce qui précède, *mêmes propriétés chimiques*. Ils seront chimiquement indiscernables. De tels atomes ont été désignés du nom d'*isotopes*, parce qu'ils devront occuper la même place dans la classification périodique. Il est remarquable que, par des expériences mettant en jeu les masses des atomes, on ait pu observer qu'un certain nombre de *corps simples*, sont en réalité des *mélanges d'isotopes*. Le tableau périodique en montre de nombreux exemples (nombres placés à droite du symbole de l'élément et réunis par des accolades).

La stabilité de l'atome. — Il nous faut maintenant comprendre comment l'atome de Rutherford, dont nous connaissons la configuration générale, peut être stable, en dépit des lois de l'électromagnétisme. Ces lois veulent que l'accélération continuelle des électrons, ramenés à chaque instant vers le centre positif, soit accompagnée d'un rayonnement. La stabilité de l'atome exige que ce rayonnement n'existe pas. D'où contradiction. Cette contradiction est levée par une propriété fort étrange de la matière, mais qui s'in-

trouduit nécessairement dans toute théorie de l'émission de lumière par la matière. C'est la théorie des *quanta* de Planck. Cette même théorie permet de se figurer un état stable de l'atome dynamique.

Les quanta. — Rappelons d'abord quelques faits bien connus :

1° On ne peut concevoir la répartition de l'énergie, observée dans le spectre du corps noir, qu'en imaginant que la matière n'échange d'énergie avec l'éther que par bonds discontinus, par *quanta*. Un atome ne peut rayonner de lumière de fréquence ν que par trains d'onde cohérents, emportant chacun en bloc une énergie finie qui s'exprime par la relation

$$(1) \quad U = h\nu.$$

où h est une *constante universelle* de valeur égale à $6,55 \cdot 10^{-27}$ erg-seconde.

Il lui est impossible d'émettre une fraction de cette énergie. Il est probable qu'il ne peut pas non plus absorber une fraction de la même grandeur.

Cette hypothèse des quanta nous a été *imposée* par les faits. Elle a pu, en outre, dans bien des cas, être contrôlée directement.

Soit par exemple un tube de Coolidge, où une cathode incandescente de tungstène lance des électrons sur une anticathode. Soit V la différence de potentiel existant entre les deux électrodes. L'énergie (cinétique) d'un électron qui arrive sur l'anticathode est donné par

$$U = eV.$$

Or, l'anticathode ainsi bombardée émet des rayons X. Que vont être les fréquences de ces rayons? Si la loi précédente est vraie, la fréquence sera forcément un sous-multiple de $\frac{U}{h}$, ce dernier nombre en étant la valeur maximum.

C'est précisément ce que donne l'expérience. Outre les lignes caractéristiques du métal de l'anticathode, on observe l'existence d'un spectre continu, qui s'étend plus loin que le spectre discontinu vers les courtes longueurs d'onde, mais possède une *limite* parfaitement nette dans cette direction. Si on mesure la fréquence ν de cette limite, on la trouve correspondre exactement à l'équation

$$(2) \quad Ve = h\nu.$$

Ainsi, à chaque impact sur l'anticathode d'un électron d'énergie cinétique Ve , celle-ci lance un quantum $h\nu$, ou en général n quanta de grandeur $h \frac{\nu}{n}$ qui correspond à la fréquence $\frac{\nu}{n}$. Elle n'en peut lancer aucun de valeur supérieure à $h\nu$, et par conséquent de fréquence supérieure à $\nu = \frac{Ve}{h}$.

Même résultat avec la lumière visible. En bombardant de la vapeur de sodium avec des électrons, la ligne D n'est émise qu'à partir d'une énergie Ve des électrons donnée par l'équation (2).

En effet, on a alors $\lambda = 0,589 \mu$; $\nu = 5,09 \cdot 10^{14}$

$$V = \frac{h\nu}{e} = \frac{6,55 \cdot 10^{-27} \cdot 5,09 \cdot 10^{14}}{4,77 \cdot 10^{-10}} = 6,94 \cdot 10^{-2} \text{ U.E.S.} \\ = 6,94 \cdot 10^{-2} \times 300 = 2,08 \text{ v.}$$

Or, l'expérience fournit 2,12 v.

Les autres vapeurs métalliques donnent des résultats analogues.

2° Revenons à notre atome dynamique. Pour émettre une ligne spectrale de fréquence ν , il faut qu'il possède au moins, en tant que réserve disponible, le quantum d'énergie $h\nu$ correspondant. Une fois lancé le mécanisme d'émission, celui-ci ne pourra s'arrêter qu'après épuisement de la totalité du quantum $h\nu$.

Réciproquement, si ce mécanisme n'est pas mis en branle, les charges électriques en mouvement *pourront subir des accélérations sans qu'il y ait rayonnement*. Elles conserveront donc indéfiniment leur énergie initiale. Les orbites des électrons seront stables, ou, comme s'exprime Bohr, *stationnaires*.

Pour terminer la description de l'atome, il resterait à définir ce que sont ces orbites stationnaires qui caractérisent l'atome non émissif. Il est assez difficile de fixer à priori les conditions dynamiques auxquelles elles satisfont, et on peut dire que l'on doit au hasard la solution. Celle-ci se présente sous une forme encore assez abstraite, mais dont il importe de dire quelques mots pour ce qui va suivre.

Voici, sous une forme très générale, l'énoncé que l'on peut donner à l'hypothèse des quanta :

Etant donné un système matériel dont l'état dépend d'un certain nombre de variables indépendantes (coordonnées, angles, etc.), tout mouvement stationnaire de ce système satisfait à la condition suivante : lorsque l'un quelconque des paramètres q revient à sa valeur initiale (décrit un cycle fermé), l'action qu'il a mise en jeu pendant le mouvement correspondant est un multiple entier de h .

Définissons la grandeur appelée *action* dont il est question dans cet énoncé. Par définition, l'action mise en jeu par le paramètre q s'exprime par l'intégrale $\int p dq$ étendue à tout le cycle de valeurs parcouru par le paramètre; p est la quantité des mouvements — ou, plus correctement, le moment — correspondant au paramètre q . On a donc $\int p dq = nh$. S'il y a v paramètres indépendants, on a v conditions de ce genre.

Appliquons cet énoncé au cas des électrons en mouvement stationnaire dans l'atome. Ici, la grandeur p est la quantité de mouvement mv , qui est constante (force radiale, $v = \text{constante}$). Donc $\int p dq = mv \int dq$

$= mv \times 2\pi a$ (a = rayon de l'orbite). On a ainsi l'équation à laquelle doit obéir le mouvement de l'électron considéré

$$(3) \quad mv \times 2\pi a = nh.$$

Les séries de lignes spectrales. — C'est au moyen des hypothèses précédentes que Bohr a pu préciser encore, et faire franchir un pas considérable aux vues théoriques sur les phénomènes intra-atomiques. Toute théorie de l'atome doit rendre compte des spectres émis par les différents atomes. En particulier, elle doit pouvoir interpréter les remarquables relations, découvertes le plus souvent empiriquement, entre certaines lignes du spectre d'un élément donné.

On sait que les lignes des spectres les plus simples se groupent en séries qui obéissent à des lois tout à fait précises. Le premier exemple remarquable est fourni par la série de Balmer formée par les lignes H_α , H_β , H_γ , H_δ ... de l'hydrogène. Si on considère ces lignes du rouge à l'ultra-violet, si l'on appelle n' leur numéro d'ordre, ν' les nombres d'ondes au centimètre

($\nu' = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c}$, où c est la vitesse de la lumière dans le vide) qui leur correspondent, on constate que ces grandeurs sont liées par une relation de forme simple

$$(4) \quad \nu' = \mathcal{R} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n'^2} \right).$$

où $\mathcal{R} = 109\,677,69$ et $n' = 3, 4, 5, \dots$ etc.

Telle est l'expression de la loi de Balmer : les nombres d'onde calculés au moyen de (4) concordent avec les nombres observés à moins de $\frac{1}{200\,000}$ près de leur valeur.

La série a une limite $\nu'_\infty = \frac{\mathcal{R}}{4}$. Les lignes successives se rapprochent indéfiniment de cette limite, en devenant de moins en moins intenses.

\mathcal{R} est la constante de Rydberg. On la retrouve dans toutes les formules de séries.

L'hydrogène fournit encore une série ultra-violette (Lyman)

$$\nu' = \mathcal{R} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n'^2} \right); \quad n' = 2, 3, 4, \dots$$

et une série infra-rouge (Paschen)

$$\nu' = \mathcal{R} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n'^2} \right); \quad n' = 4, 5, \dots$$

Si bien que l'on peut dire avec Ritz que toutes les lignes possibles de l'hydrogène sont données par la formule générale

$$(5) \quad \nu' = \mathcal{R} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right).$$

n et n' étant deux nombres entiers quelconques (tels cependant que ν' soit positif).

L'hélium produit des séries analogues, longtemps attribuées à l'hydrogène. Nous verrons comment Bohr a pu montrer qu'elles appartiennent à l'hélium. Les formules correspondantes sont

$$\nu' = 4\mathcal{R} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n'^2} \right); \quad n' = 5, 6, \dots \text{ (série de Pickering),}$$

$$\nu' = 4\mathcal{R} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n'^2} \right); \quad n' = 4, 5, 6, \dots \text{ (série de Fowler).}$$

où \mathcal{R} conserve à très peu près la valeur trouvée pour l'hydrogène.

On peut donc exprimer les lignes de l'ion H_e^+ (l'ion H_e^{++} n'est pas émissif, par la formule générale, analogue à (5)

$$(6) \quad \nu' = 4\mathcal{R} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right).$$

On a des relations analogues pour les autres éléments.

Théorie de Bohr. — Bohr remarqua qu'ainsi ν' est toujours donné par la différence de deux termes. Rapprochons ceci de l'équation (1), écrite sous la forme

$$\nu = \frac{U}{h}. \quad \text{On est amené à l'écrire aussi sous la forme}$$

$$\text{d'une différence, telle que } \nu = \frac{U - U'}{h}, \text{ et à l'interpréter}$$

ainsi : $U - U'$ représente l'énergie rayonnée par l'atome pendant qu'il passe d'un état dynamique stationnaire à un autre ; U et U' sont donc les énergies qui correspondent à ces deux états.

D'où la conception de Bohr : Les trajectoires stationnaires ne rayonnent pas ; l'émission d'une ligne a lieu lorsque l'électron passe d'une trajectoire stationnaire à une autre ; la fréquence de cette ligne est proportionnelle à la chute d'énergie qui accompagne ce passage.

Calculons donc les énergies des états stationnaires de l'atome.

Les hypothèses fondamentales sont les suivantes :

1° L'équilibre dynamique des atomes dans leur état stationnaire est régi par les lois de la mécanique.

2° A ces lois se superpose, par l'hypothèse des quanta, la condition que les trajectoires sont stationnaires.

Le calcul est simple dans le cas d'un noyau de charge $+Ne$ autour duquel gravite un seul électron de charge $-e$. C'est le cas de l'atome d'hydrogène, ou de l'ion H_e^+ .

L'orbite est alors en général une ellipse, et le problème est le même que pour les planètes. Considérons, pour simplifier, des trajectoires circulaires. La condition des quanta prend alors la forme (3)

$$mv \times 2\pi a = nh.$$

L'électron est retenu vers le noyau par l'attraction électrostatique $\frac{N_a e^2}{a^2}$, qui est équilibrée par la force centrifuge $\frac{mv^2}{a}$. On a donc

$$(7) \quad \frac{mv^2}{a} = \frac{N_a e^2}{a^2}.$$

Soit f la fréquence, T la période du mouvement de révolution.

La vitesse v est donnée par

$$v = \frac{2\pi a}{T} = 2\pi a f.$$

Et l'équation (7) devient

$$(8) \quad 4\pi^2 a f^2 m = \frac{N_a e^2}{a^2}.$$

Calculons l'énergie totale U du système. Elle se compose de son énergie cinétique w et de l'énergie potentielle W . On a

$$w = \frac{mv^2}{2} = 2\pi^2 a^2 f^2 m = \frac{N_a e^2}{2a},$$

$$W = W_\infty - \frac{N_a e^2}{a},$$

W_∞ étant l'énergie potentielle du système noyau électron, lorsque l'électron est à l'infini.

On a donc

$$(9) \quad U = W + w = W_\infty - \frac{N_a e^2}{2a}.$$

Voilà ce que donne la mécanique pure. Introduisons maintenant l'équation des quanta (3) qui déterminera, parmi toutes les trajectoires possibles, celles qui sont stationnaires.

On a, pour la quantité de mouvement,

$$mv = 2\pi a f m.$$

Ce qui donne

$$2\pi a f m \times 2\pi a = nh,$$

ou

$$f = \frac{nh}{4\pi^2 a^2 m}.$$

Reportons dans (8). Nous obtenons

$$(10) \quad a = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m N_a e^2}.$$

Les rayons des orbites stationnaires sont entre eux comme les carrés des nombres entiers successifs n .

Enfin, reportant a dans (9), on a

$$(11) \quad U = W_\infty - \frac{2\pi^2 m N_a^2 e^4}{n^2 h^2}.$$

Autant d'orbites stationnaires, autant de nombres entiers n , autant de valeurs, parfaitement déterminées, du rayon a et de l'énergie U .

Lorsque l'électron passe d'une trajectoire stationnaire caractérisée par n' quanta, à une autre dont le nombre de quanta est n , n étant inférieur à n' , il subit une diminution d'énergie égale à

$$U_{n'} - U_n = \frac{2\pi^2 m N_a^2 e^4}{h^2} \left[\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right],$$

équation qui rappelle celles de Balmer et Ritz. Il reste à relier la fréquence à l'énergie. C'est alors que Bohr eut l'idée géniale de poser

$$U_{n'} - U_n = h\nu,$$

en appliquant à l'atome l'équation de Planck.

D'où

$$(12) \quad \nu = \frac{2\pi^2 m N_a^2 e^4}{h^3} \left[\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right],$$

et pour le nombre d'ondes

$$(13) \quad \nu' = \frac{\nu}{c} = \frac{2\pi^2 m N_a^2 e^4}{h^3 c} \left[\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right] = N_a^2 \mathcal{R} \left[\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right],$$

la constante \mathcal{R} étant universelle.

Pour l'hydrogène, $N_a = 1$, et on retrouve la formule de Balmer-Ritz. On peut, du reste, calculer \mathcal{R} directement. On retrouve très exactement le nombre observé.

Les diamètres des orbites successives peuvent se calculer au moyen de l'équation (10). On trouve, pour l'orbite la plus petite ($n = 1$), $2a_1 = 1,1 \cdot 10^{-8}$ cm, pour la suivante ($n = 2$), $2a_2 = 4,4 \cdot 10^{-8}$ cm, etc.

La formule (13) s'applique à l'ion He⁺ dont la seule différence avec H est la charge double du noyau $N_a = 2$. D'où

$$\nu' = 4\mathcal{R} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right).$$

qui est la formule écrite plus haut. Et on comprend maintenant pourquoi les séries de Pickering et de Fowler devaient être attribuées à l'hélium.

Voici donc le mécanisme de l'émission d'une ligne spectrale de l'hydrogène. L'électron d'un atome, à la suite du choc d'un électron errant ou d'un autre atome, ou par l'absorption d'un rayonnement, prend une énergie suffisante pour s'écarter du noyau et graviter à une distance

$$a = \frac{n'^2 h^2}{4\pi^2 m e^2}.$$

Son mouvement est alors stationnaire. Mais brusquement, sous une influence encore inconnue, faible probablement, il retombe sur la trajectoire $n = 2$, qui présente une stabilité particulière. Cette chute est accompagnée d'un rayonnement *monochromatique*, de fréquence déterminée par la chute $U_{n'} - U_n$.

Ainsi, la série de Balmer correspond à la chute de l'électron des trajectoires $n' = 3, n' = 4, n' = 5, n' = 6 \dots$ sur la trajectoire $n = 2$; la série ultraviolette de Lyman à la chute de l'électron des trajectoires $n' = 3, 4, 5, 6, \dots$ à la trajectoire $n = 1$.

Quant au mécanisme par lequel se produit l'émission de lumière pendant ces parcours, il est encore totalement inconnu.

Les spectres des rayons X. — Leur théorie ressemble à celle de la série de Balmer. On sait que les divers éléments possèdent des spectres de rayons X, composés de lignes aussi fines que celles des spectres lumineux. Ces lignes se groupent en plusieurs séries d'inégale dureté, désignées par les lettres K, L et M. Les spectres de rayons X des divers éléments sont constitués par les mêmes séries qui sont presque identiques, à la longueur d'onde près, pour les divers éléments. Le groupe le plus dur (fréquences les plus grandes) est le groupe K, dont la ligne la plus intense est K_α (Moseley),

A mesure que le nombre atomique augmente, le groupe K se déplace en bloc, régulièrement, vers les courtes longueurs d'onde. Il en est de même des groupes L et M.

Considérons en particulier la ligne K_α . En portant en ordonnées la racine carrée de son nombre d'onde ν et en abscisses le nombre atomique N_α correspondant, on obtient la droite

$$\sqrt{\nu} = \sqrt{\frac{3}{4}} \mathcal{R} (N_\alpha - 1).$$

que l'on peut écrire

$$(14) \quad \nu = \mathcal{R} (N_\alpha - 1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right),$$

ou \mathcal{R} est la constante de Rydberg.

Il y a analogie, on le voit, avec les formules précédentes de Ritz et de Balmer. On peut admettre qu'ici encore l'électron rayonne en passant d'une trajectoire stable à une autre.

Mais quel électron? Il ne saurait être question d'un électron périphérique, mais d'un électron plus voisin du noyau. On admet que la série K correspond à l'électron le plus voisin du noyau.

Si on néglige le champ (faible) dû aux autres électrons, on se trouve à peu près dans les conditions de l'atome d'hydrogène : un électron en présence d'un centre de charge $N_\alpha e$. Les lignes possibles sont alors données par une formule analogue à (13)

$$(15) \quad \nu = N_\alpha^2 \mathcal{R} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right).$$

Si on suppose que l'orbite terminale est la plus rapprochée du noyau, on a $n = 1$; si l'orbite initiale est la suivante, on a $n' = 2$; et on obtient l'équation

$$\nu = N_\alpha^2 \mathcal{R} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right),$$

qui est à peu près celle de Moseley; la différence tient à ce qu'on a négligé le champ des autres électrons, qui *affaiblit* le champ du noyau.

L'importance pratique de la formule de Moseley est considérable. C'est elle qui a fixé, dès 1913, les nombres atomiques des éléments et donné à la table périodique son aspect actuel. Historiquement, elle fut et reste une des bases essentielles de la théorie de l'atome de Rutherford et Bohr.

Les fréquences des lignes des séries K, L, M ne sont pas indépendantes. Une relation très intéressante a été découverte sur ce point par Kossel.

La fréquence de la ligne L_α , par exemple, est égale à la différence des fréquences des lignes K_β et K_α .

Si on désigne les fréquences par les symboles des lignes correspondantes, on a donc

$$(16) \quad \left\{ \begin{array}{l} L_\alpha = K_\beta - K_\alpha, \\ \text{L'expérience a donnée de même :} \\ L_\beta = K_\gamma - K_\alpha, \\ M_\alpha = L_\beta - L_\alpha = K_\gamma - K_\beta, \text{ etc.} \end{array} \right.$$

Ces faits s'interprètent très simplement. Une ligne de Röntgen est émise lorsqu'un électron passe d'une orbite stationnaire à une autre, chaque orbite correspondant à un nombre donné de quanta n . Mais, les atomes dont on a observé les spectres de rayons X possèdent un grand nombre d'électrons (atomes lourds, N_α grand). Ces électrons doivent se répartir entre les diverses orbites stationnaires. Plusieurs d'entre eux peuvent coexister sur une même trajectoire et former un *anneau*, plusieurs anneaux peuvent s'enchevêtrer l'un dans l'autre et former une *couche* ou *région*, et ces régions successives s'emboîtant l'une dans l'autre sont les mêmes, évidemment, que nous a révélées la classification périodique et les propriétés chimiques des éléments. Les deux premiers électrons (atome d'hélium) forment la première couche (nombre de quanta $n = 1$). Les huit électrons suivants qui s'agrégent à l'atome pendant la première période de la classification des éléments (Li — Ne) constituent la deuxième couche, $n = 2$, etc.

Désignons les couches successives $n = 1, n = 2, n = 3$, etc. par les lettres K, L, M, N, etc. On a évidemment, en appelant U_N l'énergie d'un électron de la couche N, et de même pour les autres

$$U_N - U_M = (U_N - U_K) - (U_M - U_K),$$

et, en appliquant la relation $U_N - U_M = h\nu_N^M$ (ν_N^M étant la fréquence de la ligne émise pendant le passage de la région N à la région M), et d'autres relations analogues

pour les passages $N \rightarrow K$, $M \rightarrow K$, on obtient l'équation

$$v_N^M = v_N^K - v_M^K \text{ qui correspond à (16) :}$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$M_\alpha = K_\gamma - K_\beta$$

et à la figure 1 correspondante (voir ci-dessous) : chaque flèche de cette figure correspond à une ligne de Röntgen, et sa longueur est proportionnelle à la fréquence.

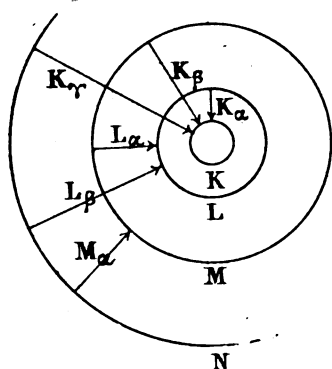


Fig. 1. — Relations entre les séries des spectres de rayon X.

Ces relations, très simples, se compliquent à mesure que l'on considère des lignes de rang plus élevé dans chaque série.

Le développement de la théorie. — Depuis que Bohr a émis sa remarquable théorie, des progrès importants ont été faits, ou se font encore actuellement.

Sommerfeld a remarqué que les trajectoires des électrons supposées circulaires sont en réalité elliptiques. Il se présente alors une particularité importante : à un même nombre de quanta n correspondent plusieurs ellipses possédant toutes la même énergie (le nombre des ellipses possibles est égal à n). Une même ligne de Balmer peut donc être produite par plusieurs mécanismes différents, mais théoriquement équivalents : l'électron peut partir de l'une quelconque des ellipses stationnaires n' pour arriver à l'une quelconque des ellipses n . La chute d'énergie, donc la fréquence de la ligne émise, ne varie pas.

Mais ces divers mécanismes ne sont rigoureusement équivalents que dans l'hypothèse la plus simple, où il

n'y a qu'un électron en présence du noyau, loin de toute action perturbatrice, et où les lois de la dynamique de l'électron sont celles de la mécanique ordinaire.

Or, les vitesses v des électrons dans l'atome sont considérables. Par exemple, en faisant dans l'atome H, $n = 2$, on trouve $v = 10^8$ cm : s ; dans l'atome d'uranium, avec $n = 1$, on a $v = 2.10^9$, soit les deux tiers de la vitesse de la lumière. On sait qu'alors la masse devient fonction de la vitesse. Il faut appliquer la *dynamique du principe de la relativité*, dont la dynamique ordinaire n'est qu'une approximation. C'est ce qu'a fait Sommerfeld.

Les orbites sont encore à peu près des ellipses, mais avec mouvement du périhélie ; leur forme et leur énergie peuvent se calculer. Celles qui possèdent un même nombre de quanta n'ont plus tout à fait la même énergie. Par suite, les divers mécanismes auxquels est due une ligne de Balmer ne sont plus rigoureusement équivalents. Les fréquences correspondantes diffèrent légèrement. Une ligne de Balmer aura une structure complexe, ne sera plus monochromatique. C'est ce qu'a montré l'expérience, qui a vérifié la théorie dans tous ses détails. Et cela constitue tout à la fois une vérification éclatante et précise de la *théorie des quanta* et de celle de la *relativité*.

Ces vues se sont confirmées plus récemment par les modifications spectrales observées sous l'action d'un champ électrique. Elles permettent d'expliquer, aussi bien que le fait la théorie de Lorentz, le phénomène de Zeeman, qui rentre ainsi dans le cadre de la théorie de l'atome.

Enfin, on a pu montrer que la conception électrique de l'atome explique la cohésion dans les cristaux et dans les fluides, l'affinité chimique, les forces capillaires et la pression intérieure de Van der Waals, qui toutes se ramènent à des actions d'ordre électrostatique.

« Telle est la puissance d'explication de la théorie électrique de l'atome. Mille faits épars et sans lien apparent se classent et s'expliquent. Phénomènes chimiques, spectres lumineux, lignes de Röntgen, cohésion, capillarité, élasticité, autant de domaines séparés pour lesquels on avait imaginé autant de formes distinctes de l'énergie. Les barrières tombent. Toutes ces énergies paraissent se ramener à une seule, l'énergie électromagnétique. »

L. BRUNINGHAUS,
Docteur ès sciences, agrégé de
l'Université, professeur à
l'Ecole J.-B. Say.

Sur la mesure des isollements par la méthode dite d'accumulation

Dans cette étude, qui a été l'objet d'une note présentée à la séance du 30 janvier de l'Académie des Sciences (1), M. Chaumat fait remarquer la grandeur des erreurs qui s'introduisent dans cette méthode de mesure, erreurs dues principalement à la décharge du condensateur à travers son propre diélectrique. L'auteur donne ensuite une méthode pour éviter les erreurs tenant à cette cause.

On sait que la méthode de mesure des isollements, dite d'accumulation, consiste à charger un condensateur de capacité C à travers la résistance d'isolement à mesurer R , à l'aide d'une pile de force électromotrice E . Dans ces conditions, la différence de potentiels entre les armatures du condensateur V_1 , acquise au bout du temps t_1 , est définie par l'équation

$$(1) \quad t_1 = CR \log_e \frac{E}{E - V_1},$$

d'où l'on déduit immédiatement R , les grandeurs E , V_1 , t_1 , pouvant être facilement mesurées.

Cette méthode convient à la mesure des résistances d'isolement très élevées.

On est alors gêné par l'isolement propre ρ du condensateur qui se décharge à travers son propre diélectrique pendant qu'il se charge sous l'action de la pile E . L'équation devient alors

$$(2) \quad t_1 = \frac{CR\rho}{R + \rho} \log_e \frac{E\rho}{E\rho - (R + \rho)V_1},$$

équation transcendante en R que l'on peut résoudre par approximations successives, ρ étant mesuré dans une expérience distincte.

On peut s'exposer alors à de graves erreurs.

De la formule (2) on tire, en effet,

$$(3) \quad V_1 = \frac{E\rho}{R + \rho} \left(1 - e^{-\frac{R + \rho}{C\rho} t_1} \right),$$

formule qui montre que la différence de potentiel V_1 atteint une limite

$$\frac{E\rho}{R + \rho},$$

qui peut être très inférieure à E . La quantité d'électricité reçue par le condensateur pendant un temps infiniment petit est alors égale à celle qu'il perd à travers son propre diélectrique.

Cette limite n'est atteinte qu'au bout d'un temps théoriquement infini. Mais dans la pratique de la mesure, suivant les valeurs de C , de R et de ρ , la valeur de V_1 acquise au bout du temps t_1 fini, peut ne différer de la valeur limite que d'une quantité inappréciable, inférieure aux erreurs de lecture.

Dès lors, quelle que soit la durée de la charge, on

obtiendra toujours la même valeur V_1 de la différence de potentiels finale aux bornes du condensateur. On peut alors, si l'on n'y prend garde, faire des erreurs considérables dans la mesure de R , par exemple de l'ordre de 50 pour 100 et plus.

Pour éviter les erreurs tenant à cette cause, on devra toujours faire deux mesures, au moins, l'une avec une durée de charge t_1 , l'autre avec une durée de charge $t'_1 > t_1$. On doit trouver dans le second cas une différence de potentiels finale V'_1 notablement plus grande que V_1 .

Si V_1 et V'_1 se confondent sensiblement, aux erreurs près des lectures, c'est que la limite de charge a été déjà pratiquement atteinte dans la première expérience. Et l'on devra recommencer l'expérience en faisant durer la charge pendant un intervalle de temps plus faible que t_1 . On continuera jusqu'à ce que dans deux expériences faites pendant des durées inégales, t_1 et t'_1 , on trouve, pour la valeur finale de la différence de potentiels entre les armatures du condensateur, deux valeurs notablement différentes V_1 et V'_1 .

Dans les deux cas, l'isolement du condensateur, ρ , sera mesuré à part par la méthode de la perte de charge. Et comme l'on sait que l'isolement d'un diélectrique est fonction de la différence de potentiels à laquelle il est soumis, cet isolement du condensateur sera mesuré successivement de la façon suivante :

Pour déterminer la valeur de ρ correspondant à la première mesure, on chargera le condensateur à la différence de potentiels initiale V_1 et on le laissera se décharger à travers son propre diélectrique pendant un temps convenable fixé par les conditions optima de précision.

On opérera de même pour déterminer la valeur de ρ correspondant à la seconde mesure, mais en chargeant cette fois le condensateur à la différence de potentiels initiale V'_1 .

Tous calculs faits, on obtiendra deux valeurs de R qui seront nécessairement différentes, la résistance d'isolement mesurée étant dans les deux cas placée dans des conditions électriques différentes. Elle est soumise en effet, dans le premier cas, à une différence de potentiels variable pendant la durée de l'expérience entre E et $E - V_1$, et dans le second cas à une différence de potentiels variable entre E et $E - V'_1$. Mais les résultats pourront toujours être interprétés pratiquement.

H. CHAUMAT.

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 30 janvier 1922. t. CLXXIV, p. 286-287.

Note sur la propagation des ondes dans les transformateurs

Cette étude est un complément d'un précédent article publié dans la « Revue générale de l'Électricité » du 21 janvier 1922, t. XI, p. 75-82⁽¹⁾. Rappelons que le but de l'auteur est de chercher à déterminer l'influence de la self-inductance et des capacités propres et par rapport à la terre, des enroulements d'un transformateur sur la propagation d'une onde arrivant sur ses bornes.

Dans une étude précédente, nous avons donné les équations de propagation d'une onde sinusoïdale dans les enroulements d'un transformateur en supposant que l'inductance mutuelle M entre spires était égale à zéro. Nous avons trouvé que, pour

$$\omega < \frac{1}{\sqrt{Lc}},$$

l'onde se propageait comme sur une ligne ordinaire, et, par suite, la contrainte $\frac{\partial U}{\partial x}$ a une répartition sinusoïdale; tandis que, si

$$\omega \geq \frac{1}{\sqrt{Lc}},$$

la répartition du potentiel et, par suite, celle de la contrainte était apériodique.

Si $M \neq 0$, la séparation n'est pas aussi marquée et, ainsi que nous l'avons dit, les termes sinusoïdal et apériodique se superposent.

En pratique, cette superposition n'existe que pour des fréquences très voisines de la fréquence critique, et dès que la différence augmente, l'un des termes disparaît et on retombe sur le cas de $M = 0$.

En calculant la valeur maximum de la contrainte $\frac{\partial U}{\partial x}$ avec les valeurs de U données page 81, 2^e colonne, on obtient facilement

$$\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)_{\max.} = E \frac{\omega \sqrt{Lc}}{\sqrt{Lc\omega^2 - 1}}.$$

Les variations de cette quantité en fonction de ω sont données par la figure 1.

La contrainte est théoriquement infinie pour la fréquence critique, ce qui correspond bien au fait que l'amortissement est infini. L'onde de tension ne peut donc pénétrer dans le transformateur et elle est réfléchie sur les premières spires.

⁽¹⁾ Au sujet de ce précédent article, nous prions les lecteurs de faire les corrections suivantes : page 80, col. 1, ligne 10 : ajouter $M = 0$ après le mot approximation; page 82, col. 2, ligne 15 : lire $\frac{1}{1000}$ au lieu de 1000.

Pour $\omega = \infty$, on a

$$\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)_{x=0} = E \sqrt{\frac{C}{c}},$$

ce qui correspond bien à la valeur donnée pour les ondes à front raide pour $l = \infty$.

La valeur de α donnée page 79, 2^e colonne, correspond à des valeurs C et c par unité de longueur; mais pour

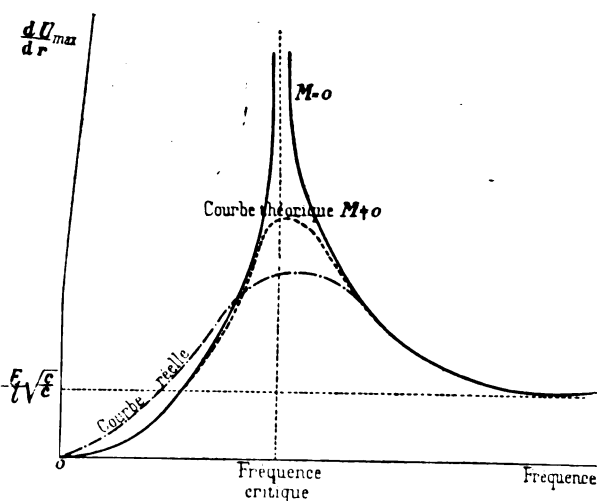


Fig. 1.

une longueur l qui peut être soit la longueur d'une spire, soit la longueur totale de l'enroulement du transformateur, on aura

$$C_l = Cl \quad \text{et} \quad c_l = \frac{c}{l}, \quad \text{par suite} \quad \sqrt{\frac{C_l}{c_l}} = l \sqrt{\frac{C}{c}},$$

C_l et c_l étant les capacités correspondant à la longueur l .

Au contraire, la valeur de \sqrt{Lc} est indépendante de la longueur considérée.

La contrainte maximum maximum ne se produit donc pas pour les ondes à front raide, mais pour celles correspondant à la fréquence critique.

Ces valeurs de la contrainte s'appliquent également

au cas où $M \neq 0$, sauf pour ω voisin de $\frac{1}{\sqrt{Lc}}$.

On conçoit sans peine que plus le couplage entre spires est serré, plus la valeur de la contrainte doit

être faible, car l'énergie doit se transmettre plus facilement aux spires suivantes.

L'action de M doit se faire sentir d'autant plus que les intensités sont plus différentes, c'est-à-dire pour les grandes valeurs de l'amortissement.

Quand M est différent de zéro, la valeur du maximum de la contrainte pour la fréquence critique est

$$\frac{E}{l} \sqrt{\frac{LC}{Mc}}$$

les quantités L , M , C , c étant prises pour la longueur l . Les valeurs pratiques de

$$\frac{1}{l} \sqrt{\frac{LC}{Mc}}$$

sont telles que la chute de tension dans les toutes premières spires est voisine de E . Le rapport théorique entre le maximum et la limite pour $\omega = \infty$ pour les transformateurs ordinaires est compris entre 10 et 100. Mais cette valeur du maximum est calculée en ne considérant que l'influence des spires immédiatement voisines ainsi que nous l'avons dit page 80, 1^{re} colonne; En réalité les autres spires interviennent également et contribuent à aplatir la courbe.

D'autre part, afin de supprimer les ondes réfléchies, nous avons supposé que la longueur de l'enroulement était infinie, or les ondes réfléchies au point neutre peuvent modifier la répartition pour les ondes à basse fréquence. Pour les ondes à haute fréquence et en particulier pour les ondes de fréquence critique, l'amortissement est considérable et l'amplitude des ondes réfléchies est suffisamment faible pour qu'on puisse les négliger, par conséquent la valeur du maximum n'est pas sensiblement modifiée.

Les courants de Foucault dans le noyau de fer interviennent également, mais comme on le sait, pour les très hautes fréquences les formules habituelles ne s'ap-

pliquent pas et à la limite pour $\omega = \infty$ tout se passe comme s'il n'y avait pas de fer et les valeurs de L et M sont plus petites qu'à basse fréquence.

On voit donc que, dans tous les cas, la valeur de $\sqrt{\frac{C}{c}}$ peut être considérée comme un critérium pour la valeur des contraintes.

Si on se contente d'augmenter c pour les premières spires, on peut obtenir seulement comme résultat de modifier le point où se produit la contrainte maximum. Il faudrait dans ce cas modifier progressivement la valeur de c .

Pour les fréquences considérées, dont l'ordre de grandeur est de 10^5 à 10^7 par seconde, les capacités sont fonction de la répartition du potentiel et de la fréquence (voir *R. G. E.*, 17 décembre 1921, p. 879). valeur est difficile à déterminer et l'expérience donne les nombres les plus divers (voir Marius Besson, *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, 1921, n° 2). Les difficultés rencontrées dans les mesures montrent aussi que la résonance n'est pas très aiguë et que par suite la courbe des contraintes doit être plus aplatie que ne l'indique la théorie.

Etant donné le manque de précision des valeurs des capacités, on ne peut indiquer qu'un ordre de gran-

deur pour $\frac{1}{l} \sqrt{\frac{C}{c}}$, qui est d'environ $\frac{1}{100}$. Dans le cas du moteur étudié par Rüdenberg, la différence de potentiel entre les extrémités de la première spire était de 3000 v.

Nous avons négligé trop de phénomènes pour que les formules obtenues puissent donner des résultats numériques précis. Leur seul intérêt est de montrer l'influence des différents termes et le sens dans lequel on doit chercher à les faire varier pour obtenir des résultats favorables.

H. MASSING,

Ingénieur du Service électrique
des Mines domaniales de la Sarre.

Revue, analyses et informations

La désintégration artificielle des éléments légers (1).

L'un des auteurs avait montré antérieurement que, lorsque des particules α rapides traversent de l'air ou de l'azote secs, il se produit des particules à long parcours qui peuvent être décelées par leurs scintillations sur un écran de sulfure de zinc. Un champ magnétique courbait les trajectoires de ces particules, à peu près au même degré que celle d'atomes rapides d'hydrogène de parcours égal, et on concluait que quelques-uns des atomes d'azote étaient désintégrés par leurs collisions violentes avec des particules α , et

qu'un atome d'hydrogène chargé positivement et à grande vitesse se trouvait mis en liberté. On n'avait pas observé de semblables particules à long parcours dans l'oxygène ou dans l'anhydride carbonique. Dans ces expériences préliminaires, les scintillations dues aux atomes d'hydrogène étaient si rares et si faibles qu'il fut trouvé difficile de décider avec certitude si le parcours de ces particules différait de celui des atomes d'hydrogène mis en mouvement rapide par le passage de particules α à travers l'hydrogène ou des composés hydrogénés.

Récemment, on put perfectionner la méthode d'observation, et on trouva que les particules de l'azote avaient un pouvoir pénétrant supérieur à celui des atomes d'hydrogène, obtenus par bombardement du gaz.

Par exemple, en se servant du radium C comme source

(1) E. RUTHERFORD et J. CHADWICK. *Phil. Mag.*, novembre 1921, t. XLII, p. 809.825, 6 000 mots, 6 fig.

de rayons α d'un parcours de 7 cm dans l'air, on ne pouvait pas déceler d'atomes H libérés dans l'hydrogène après traversée d'un écran absorbant d'aluminium ou de mica, d'épaisseur équivalente à 29 cm d'air. D'autre part, le parcours maximum des particules de l'azote correspond à 50 cm d'air. Ceci montre en même temps que l'émission de ces particules de l'azote ne peut être attribuée à la présence d'hydrogène libre, ou d'un composé hydrogéné existant à titre d'impureté. Cette observation fournit une méthode simple pour essayer si d'autres éléments, en dehors de l'azote, émettent des particules à long parcours. Or, par ce procédé, les auteurs ont obtenu la certitude que, outre l'azote, le bore, le fluor, le sodium, l'aluminium et le phosphore, exposés aux rayons α , donnent naissance à des particules dont les parcours varient entre 40 et 90 cm d'air.

Le présent travail expose les méthodes générales employées pour examiner divers éléments, et étudie aussi en détail la variation du nombre de particules avec la vitesse des particules α incidentes pour deux éléments typiques, l'azote et l'aluminium.

Il résulte de ces mesures d'une façon certaine que les particules à long parcours émises par l'azote sont des atomes d'hydrogène rapides transportant chacun une charge positive. Quoiqu'on n'ait pas encore pu identifier les particules à grand parcours libérées par les autres éléments, il semble très probable que ce sont, dans tous les cas, des atomes d'hydrogène, qui sont émis à différentes vitesses maxima dépendant de la nature de l'élément et de la vitesse de la particule α incidente. Ces atomes d'hydrogène ne peuvent provenir que de la désintégration du noyau rompu par collision précise avec une particule α .

Il est intéressant de noter que, parmi les éléments examinés jusqu'à présent, il n'y a que ceux dont la masse atomique est donnée par $4n \times 2$ ou $4n \times 3n$ qui donnent naissance à des atomes d'hydrogène. Les éléments de masse $4n$, comme le carbone, l'oxygène, le soufre, ne donnent pas lieu à cet effet. Cela résulte clairement du tableau suivant, des éléments qui fournissent des atomes d'hydrogène :

| Éléments. | Masse atomique. | $4n + a$ |
|----------------|-----------------|------------------|
| Bore..... | 12 | $2 \times 4 + 3$ |
| Azote..... | 14 | $3 \times 4 + 2$ |
| Fluor..... | 19 | $4 \times 4 + 3$ |
| Sodium..... | 23 | $5 \times 4 + 3$ |
| Aluminium..... | 27 | $6 \times 4 + 3$ |
| Phosphore..... | 31 | $7 \times 4 + 3$ |

Ce résultat s'explique simplement en supposant que les noyaux de ces éléments sont formés de noyaux d'hélium de masse 4 et de noyaux d'hydrogène. L'importance du noyau de Phélium comme unité de structure atomique dans les éléments lourds est clairement mise en évidence par l'étude des transformations radioactives.

Pour expliquer la libération d'un atome d'hydrogène à grande vitesse, il est naturel de supposer que les noyaux de l'hydrogène sont des satellites du noyau principal. Dans une collision précise, la particule α est capable de communiquer une énergie suffisante au satellite pour lui permettre de s'échapper du noyau central à grande vitesse.

L'impossibilité, jusqu'à présent constatée, pour les particules α d'extraire des atomes d'hydrogène des éléments de masse atomique supérieure à celle du phosphore peut être due, ou bien au fait que les atomes d'hydrogène gravitent très près du noyau, ou font partie de ce noyau.

Enfin, il faut noter, parmi les résultats numériques obtenus, ce fait important que l'énergie cinétique des atomes

d'hydrogène émis par l'aluminium bombardé par des particules α est 1.4 fois plus grande que l'énergie de la particule α incidente. Cette énergie additionnelle doit provenir de l'atome, du fait de sa désintégration.

La fin du mémoire est consacrée à l'étude du mécanisme probable de la désintégration. Il s'agit de rendre compte théoriquement des particularités du phénomène et, en particulier, de la relation existant entre l'énergie cinétique de la particule α , et celle de l'atome d'hydrogène émis par l'aluminium, et du fait surprenant que les atomes d'hydrogène de l'aluminium sont lancés dans toutes les directions. Ce dernier fait suggère, en outre, la possibilité d'une explosion atomique dans laquelle l'énergie de la particule α joue le rôle de détonateur, et où la particule d'hydrogène lancée emprunte la plus grande partie de son énergie au noyau. Cependant, une telle conclusion n'est pas d'accord avec le fait d'expérience selon lequel l'énergie d'émission paraît être presque exactement proportionnelle à l'énergie de la particule α incidente.

L'émission des atomes d'hydrogène dans toutes les directions peut être expliquée d'une façon très simple, qui est mise en évidence par la figure 1.

On suppose que l'atome d'hydrogène se meut sur une orbite autour du noyau central N. Si une collision du

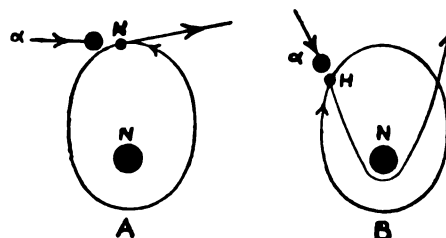


Fig. 1. — Mécanisme de désintégration d'un atome par le choc d'une particule α .

genre A se produit, l'atome d'hydrogène est lancé dans la direction de la particule α et loin du noyau. Dans une collision du genre B, l'atome d'hydrogène est poussé vers le noyau, il décrit une trajectoire passant très près du noyau, et s'échappe dans une direction opposée à la direction initiale de la particule α . La différence observée entre la vitesse de l'atome d'hydrogène dans le cas A, et dans le cas B (vitesse plus petite) est due probablement au fait que le noyau a été mis en mouvement dans la direction de la particule α avant que la collision précise avec l'atome H ne se soit produite.

Il faut remarquer, pour finir, que la chance que possède une particule α de libérer un atome H d'un noyau est extrêmement petite. Dans le cas de l'aluminium, par exemple, le nombre de scintillations observées sur un écran de 8,3 mm² d'aire pour une absorption de 30 cm correspond à environ une par minute et par milligramme pour une lame d'aluminium de 3,5 cm d'épaisseur d'air équivalente, distante de 3,5 cm de l'écran, et pour des rayons α de 7 cm de parcours initial. Il en résulte qu'il n'y a qu'environ une particule α sur un million qui soit capable de libérer un atome H rapide. On peut calculer aisément sur cette base que le volume d'hydrogène libéré par an de l'azote ou de l'aluminium dans des conditions réalisables pratiquement serait extrêmement petit.

L. B.

SECTION INDUSTRIELLE

Sur l'utilisation de l'énergie des marées

Au Congrès de Rouen de l'Association française pour l'Avancement des sciences, à la suite du rapport de M. de Rouville sur l'utilisation de l'énergie des marées, M. G. Claude a fait connaître le résultat peu encourageant d'un essai tenté par lui en vue d'augmenter la quantité d'énergie recueillie à chaque marée en faisant usage de pompes élevant, au moment de la pleine mer, le niveau du bassin déjà rempli, puis abaissant, au moment de la basse mer, le niveau du bassin inférieur. M. G. Claude terminait sa communication, parue dans la « R. G. E. » du 5 novembre 1921, en souhaitant que : « bannissant tout entêtement, on voulût reviser à la lumière des faits acquis les grands projets actuels avant d'y engager des millions si désirables ailleurs ». — Dans le présent article, M. Defour, auteur d'un système d'utilisation des marées dont il a préparé l'application pour la baie de Rothéneuf, commence par établir les données du problème posé par M. Claude. Il détermine les pertes d'énergie occasionnées par l'intervention des pompes, d'abord pour la régularisation de l'énergie d'une marée moyenne et, ensuite, pour la régularisation de l'énergie annuelle. Il applique ses calculs aux cycles Maire, Claude, Etat et Defour, et établit la production annuelle d'énergie qui peut être produite par chacun de ceux-ci ainsi que les puissances des turbines et pompes et les surfaces de la ventellerie qu'ils exigent respectivement. — Comme conclusion de son article, l'auteur signale que, en évitant l'emploi du pompage, mais en utilisant un secours thermique dans la proportion de un dixième de la puissance marémotrice installée, l'application de son système à une installation d'une puissance moyenne maximum atteignant, par exemple, 10 000 chevaux permettrait d'obtenir une puissance moyenne annuelle de 4 945 chevaux se répartissant en une puissance permanente ou régularisée de 3 500 chevaux et une puissance intermittente moyenne de 1 445 chevaux.

Introduction. — C'est avec un grand intérêt que nous avons lu, dans la « Revue générale de l'Électricité » du 5 novembre 1921, la note dans laquelle M. G. Claude avait relaté au Congrès de Rouen de l'Association française pour l'Avancement des Sciences, les observations que lui avait suggérées, tant par la réflexion que l'expérience, le problème si discuté de l'utilisation des marées. Avec modestie et autorité, l'auteur de cette communication se défendait fort justement d'une trop hâtive condamnation, mais il donnait, dans les termes suivants, un utile avertissement à tous ceux qui se jettent inconsidérément dans les difficultés, techniques et financières que réserve le problème de l'utilisation des marées, après en avoir fait seulement une étude superficielle sommaire et irrationnelle :

« Mon sentiment actuel, écrit-il, qui n'est donc pas, loin de là, celui d'un ennemi des marées, est que, tout bien examiné, l'avenir de leur utilisation reste précaire, même avec l'amélioration ci-dessus signalée; qu'il y faut, sauf circonstances exceptionnelles, des capitaux trop importants pour le résultat et que, surtout à l'heure actuelle, de plus pressants besoins doivent être satisfaits. Ce pessimisme, je le sais, est partagé par d'autres, et il faudrait que, bannissant tout entêtement, on voulût reviser à la lumière des faits acquis les grands projets actuels avant d'y engager des millions si désirables ailleurs ».

Ce qu'il importe avant tout de constater, c'est que l'article de M. G. Claude ne prétend pas condamner

toutes les formes d'utilisation des marées, mais que son auteur considère seulement comme un devoir d'appeler l'attention des pouvoirs publics sur la nécessité d'éviter les essais portant sur un cycle quelconque et exposant leurs auteurs à un dangereux gaspillage de capitaux.

Dans la présente étude, nous établirons d'abord la production d'énergie pour un cycle du genre de celui de Bélidor⁽¹⁾; appliquant à ce cycle le principe du pompage tel que le préconise M. Claude, nous examinerons le surcroît d'énergie produite ainsi que les frais d'établissement supplémentaires qui en résultent, et ce rapprochement permettra d'apprécier si l'on a un intérêt véritable à faire intervenir le pompage indiqué par M. Claude.

Nous proposons aussi, comme l'écrit cet auteur, de « reviser à la lumière des faits acquis les grands projets actuels avant d'y engager des millions », nous utiliserons la même méthode de calcul, pour déterminer la production d'énergie d'un cycle analogue à celui que l'État se dispose à utiliser à l'Aber-Vrach, près de Brest.

Pour reconstituer les éléments de ce cycle, nous ferons état des données publiées dans « la Journée Industrielle » des 15 et 16 août 1921, données d'après

⁽¹⁾ Pris pour type classique et point de départ dans l'exposé de M. Claude, ce cycle a été adopté également par M. Maire dans son projet d'utilisation des marées à la baie de Saint-Michel.

lesquelles la production d'énergie envisagée à l'Aber-
Vrach, est non seulement intermittente, mais encore
offre un caractère extrêmement variable.

Comme ces excessives variations imposent, au cours
d'une marée et indépendamment même des mortes
eaux, une intervention des pompes bien plus impor-
tante qu'il n'est nécessaire de le prévoir pour les cycles
de MM. Maire et G. Claude, on comprendra aisément à
quel point les craintes formulées par ce dernier sont
justifiées lorsque, au lieu d'envisager le pompage
modéré que concevait M. Claude, on est dans l'obligation
d'en faire l'usage excessif qu'impose la mise en
pratique du projet de l'Etat.

En tout cela nous sommes d'accord avec les conclusions
de M. Claude; mais en condamnant comme il le
fait les errements qui ont actuellement cours, nous ne
prétendons pas non plus frapper par cette condamnation
l'usage rationnel qu'on peut faire des marées. Après
avoir établi combien il en coûterait de continuer de tels
errements, nous montrerons que la vraie solution du
problème procède d'autres principes, et notamment
qu'elle est liée à l'utilisation d'un cycle assurant une
puissance invariable pendant toute la durée d'une
marée, et n'ayant besoin d'une usine de secours que
pour régulariser les mortes et les vives eaux.

Comme on pourra le constater à la lecture de cette
étude, une usine marémotrice basée sur l'emploi du
dernier cycle que nous préconisons n'oblige à installer
que des groupes de turbines d'une puissance totale
beaucoup moindre, mais qui cependant permettent
d'assurer une production d'énergie bien supérieure.

Exposé du problème. — Dans l'article rappelé
plus haut, M. G. Claude a indiqué sommairement
l'emploi qu'il a tenté de faire du cycle Béliador, repris
d'abord par Decœur et ensuite par M. Maire. Son idée
directrice a été d'améliorer le rendement de ce cycle
en énergie en faisant appel à des pompes pour exhausser,
au moment de l'étales supérieure, d'une hauteur X
(0,50 à 0,75 m suivant l'amplitude des marées), le plan
d'eau du réservoir qui vient de faire son plein et qui
va ainsi se déverser vers la mer, à travers des tur-
bines, sous la hauteur de chute initiale, augmentée de
cette surélévation X . Les mêmes pompes élévatoires
sont utilisées encore au moment de l'étales inférieure,
pour abaisser de la même hauteur X le plan du réservoir
qui vient de se vider vers la mer, afin d'augmenter,
de cette valeur X , la hauteur de chute du cycle
initial.

Comme le fait lui-même observer M. G. Claude, on
peut trouver paradoxale, à première vue, la prétention
d'améliorer le rendement en énergie de l'installation
par des pompages pour lesquels on ne trouve, ainsi
qu'on le sait, qu'un rendement net de 50 pour 100 après
avoir réduit la puissance brute récupérée proportion-
nellement aux rendements respectifs de la turbine, de
l'alternateur, de la ligne, du moteur et, enfin, de la
pompe elle-même.

Ce qui est vrai, c'est qu'on ne peut réaliser ce béné-

fice qu'en utilisant les pompes aux seuls moments des
étales inférieures et supérieures, c'est-à-dire en rédui-
sant au minimum la hauteur du pompage, et en profi-
tant de ce que le cycle est conçu pour donner une hau-
teur de chute aussi élevée que possible pendant les
oscillations du flux et du reflux.

Afin de procéder à la première partie de la démon-
stration annoncée plus haut, nous allons établir la pro-
duction d'énergie du cycle Maire et, ensuite, celle qu'on
obtient en modifiant ce cycle suivant le principe
indiqué par M. Claude, c'est-à-dire en lui adjoignant le
pompage aux moments des deux étales.

Pour compléter la démonstration et préciser théori-
quement les conditions de ce pompage, il est du plus
haut intérêt de comparer, à la production d'énergie
réalisée par les deux systèmes ci-dessus,

1° Celle d'un cycle représentatif de celui de l'Etat,
c'est-à-dire n'utilisant qu'un seul réservoir, et ne pro-
duisant ainsi qu'une énergie intermittente, qui devra
être régularisée, au cours d'une marée, au moyen d'une
usine hydraulique de secours mise en charge par le
pompage;

2° Celle d'un cycle plus rationnel à deux bassins,
produisant une puissance invariable pendant toute la
durée d'une marée quelconque et évitant de ce fait,
autant que possible, l'intervention des pompes.

Nous allons appliquer ces différents cycles à une
marée de 10 m d'amplitude pour permettre de calculer
commodément par la suite les hauteurs de chute pro-
portionnelles et divers autres facteurs nécessaires pour
déterminer la puissance moyenne fournie par une
marée d'amplitude quelconque. Pour simplifier le pro-
blème, nous supposons tous les réservoirs utilisés à
fonds plats et parois verticales. Dans la pratique, il suf-
firait de corriger le tracé des cycles une seule fois en
en tenant compte de l'évasement des réservoirs à utiliser.

Caractéristiques du cycle Maire (genre Béliador). — Ce système comporte l'emploi de deux réservoirs
ayant des superficies qui sont, dans l'exemple
donné, d'une superficie respective de 51 et 55 hectares,
soit 51 hectares pour le réservoir travaillant au rem-
plissage (flux ou marée montante) et 55 hectares pour
celui qui travaille à la vidange (reflux ou marée des-
cendante).

C'est ce rapport que nous avons trouvé comme
étant celui qui permet d'équilibrer au mieux la puis-
sance moyenne produite par les deux réservoirs, bien
que celle-ci soit, ainsi qu'on le verra, sensiblement
variable au cours d'une marée.

Les deux réservoirs ne communiquent pas entre eux,
mais on peut les mettre séparément ou conjointement
en communication avec la mer, pendant les phases res-
pectives du cycle de fonctionnement, afin de les faire
travailler, soit séparément, soit en conjugaison.

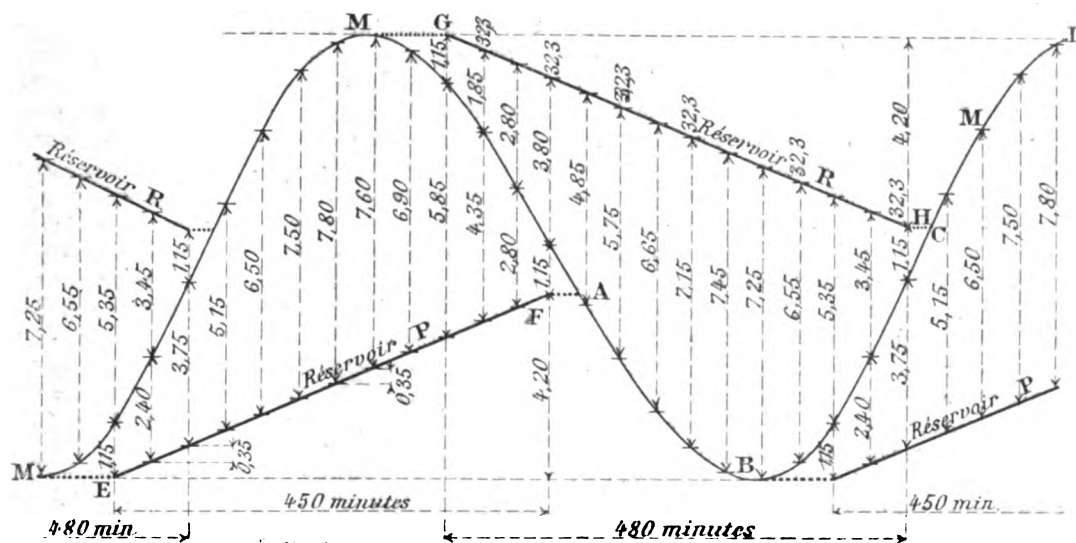
On désignera par la lettre P le plus petit réservoir,
dont le radier est au niveau des plus basses mers de
l'endroit, et par la lettre R le plus grand réservoir,
dont le fond peut se trouver au niveau moyen, c'est-à-

dire à mi-hauteur des amplitudes des diverses marées.

Le fonctionnement des deux réservoirs s'effectue en deux phases, et la figure 1 en représente le diagramme.

Dans ce diagramme, la lettre M désigne la courbe d'une marée de 10 m d'amplitude, considérée comme exemple.

Cette courbe a été obtenue à l'aide des nombres donnés dans les « Ephémérides astronomiques et



1500
2 600
3 770
4 950
5 920
6 460
6 530
8 150
5 420
4 330
3 020
1 670

1500
2 600
3 770
4 950
5 920
6 460

5 900
5 080
3 750
1 960

1 280
1 980
2 820
3 700
4 500
5 300
5 900
6 220
6 250
5 900
5 080
3 750
1 960

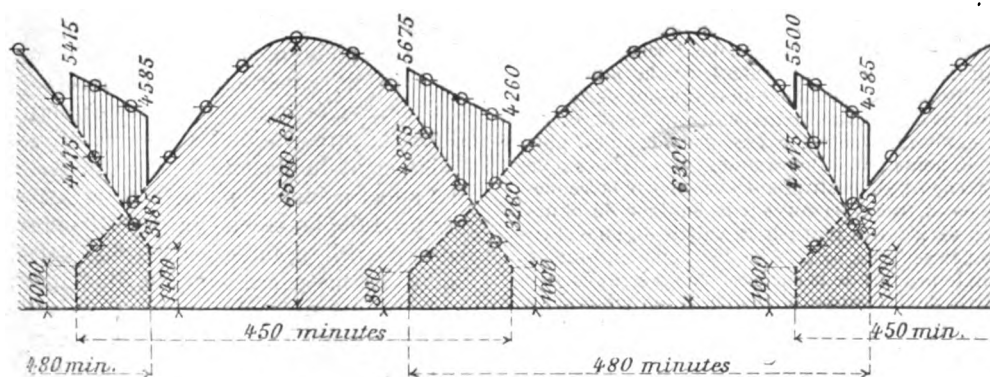


Fig. 1. — Cycle du système Maire. — Fig. 2. Diagramme des puissances obtenues en chevaux.

Annuaire des Marées de 1920 » (p. 86 et 87).

La succession des mouvements des réservoirs en travail en dehors de la vidange du réservoir P correspondant à la partie du reflux AB et du remplissage du réservoir R correspondant à la partie du flux CD, est la suivante :

Première phase. — Elle est représentée en EF sur la figure 1.

Le réservoir P se remplit jusqu'à un niveau déterminé, en recevant l'eau à travers les turbines. Cette phase débute lorsque le flux s'est élevé d'une hauteur de 1,15 m au-dessus de l'étaie inférieure, permettant

ainsi d'utiliser cette hauteur de chute, qui va atteindre, au moment de l'étales supérieure, une hauteur de 7,80 m; elle se termine lorsque le niveau de la mer au reflux n'assure plus qu'une hauteur de chute de 1,15 m vers le réservoir, celui-ci ayant reçu un volume d'eau correspondant à une élévation du niveau de 4,20 m. Pendant cette phase, l'élévation du plan d'eau du réservoir s'est produite d'une façon uniforme, et est représentée sur le diagramme par une ligne droite EF. La puissance produite ne varie que du fait que de la hauteur de chute, qui débute à 1,15 m, atteint une hauteur de 7,80 m au moment de l'étales supérieure et se termine par celle de 1,15 m. En cherchant à réduire cette variation de puissance, on n'arriverait qu'à diminuer l'énergie produite au cours de la phase, puisque, pour obtenir une puissance relativement élevée au moyen d'une petite hauteur de chute, il serait nécessaire d'augmenter le débit, ce qui relèverait plus rapidement le plan d'eau du réservoir et par suite réduirait encore la hauteur moyenne de chute disponible.

Dans le cas cité comme exemple, on obtiendra, au début de la phase une puissance minimum de 1 000 ch, et, au fur et à mesure de l'augmentation de la hauteur de chute, la puissance atteindra 6 500 ch, pour revenir à 1 000 ch en même temps que décroît cette hauteur de chute. Cette variation de la puissance est représentée sur la figure 2 (1).

Deuxième phase. — Cette phase est représentée en GH.

Le réservoir R se vide vers la mer, par l'intermédiaire des turbines, jusqu'à un niveau déterminé.

Cette phase débute lorsque le reflux est descendu de 1,15 m en-dessous de l'étales supérieure. Cette hauteur de chute de 1,15 m va augmenter et atteindre, au moment de l'étales inférieure, une hauteur de 7,45 m; elle

(1) Pour tracer la figure 2, on a déterminé par le calcul les puissances qui correspondent aux points entourés de cercles sur le graphique, en prenant la moyenne des hauteurs de chute se succédant à chaque subdivision des phases qui sont déterminées sur la figure 1. Le calcul de la puissance moyenne P (en chevaux) durant chaque opération s'effectue en faisant le produit de la hauteur moyenne de chute H (en mètres) par le débit (en mètres cubes par seconde), puis multipliant par le poids (en kilogrammes) de 1 m³ d'eau de mer (pris égal à 1 000 kg), multipliant encore par le rendement des turbines (0,70 à 0,82 suivant la hauteur de chute utilisée) et en en divisant le tout par la valeur du cheval en kilogrammètres par seconde, soit 75. Le débit étant lui-même obtenu en faisant le produit de la surface S (en mètres carrés) du réservoir par la dénivellation moyenne D (en mètres) de l'eau dans ce réservoir, puis divisant par le temps t (en secondes) d'une opération, on a la formule :

$$P = \frac{H \times D \times S \times 1\,000 \times \eta}{t \times 75}$$

Pour la première opération du cycle Maire cette formule donne :

$$\frac{1,15 + 2,40}{2} \times 0,35 \times 51 \times 10^4 \times 10^3 \times 0,80 \\ \frac{37,5 \times 60 \times 75}{1} = 1\,500 \text{ ch,}$$

se réduira ensuite insensiblement jusqu'à ce que le niveau du réservoir et celui de la marée ne soit plus écartés que d'une hauteur de chute de 1,15 m, moment où se termine cette phase. De même que pour le réservoir P, le débit du réservoir R s'effectue d'une façon régulière, déterminant au tracé du diagramme une dénivellation en ligne droite GH.

Si l'on veut conserver un maximum d'énergie, les mêmes raisons que nous avons données en exposant la première phase du cycle nous obligeront à passer d'une puissance de 800 ch à celle de 6 300 ch, pour revenir à 1 400 ch suivant le diagramme de la figure 2.

Pendant le temps commun de travail en conjugaison de ces deux réservoirs, les énergies produites, désignées en figure 2 au moyen de hachures en quadrillé, s'ajouteront l'une à l'autre. Le résultat de cette addition est représenté à la même figure par la surface couverte de hachures verticales.

Les puissances ainsi obtenues passent par les points 4 415, 5 415, 4 585, 3 185, 6 500, 4 875, 5 675, 4 260, 6 300, 4 415, 5 500, 4 585, et 3 185 ch.

Caractéristiques du cycle Claude. — Ce cycle ne diffère de celui qui vient d'être décrit que du fait de l'augmentation des hauteurs de chute, de la quantité représentée sur la figure 3 de I à J et ayant une valeur de 0,58 m dans l'exemple donné.

On obtient cette augmentation en utilisant une partie de l'énergie produite aux moments des étales : à l'étales supérieure, à surélever le plan d'eau du réservoir R; à l'étales inférieure, pour abaisser le niveau du réservoir P.

De même que pour le cycle Maire, les parties couvertes de hachures en quadrillé de la figure 4 représentent les énergies qui sont additionnées par le fonctionnement en conjugaison des deux réservoirs, et les parties hachurées verticalement, le résultat de l'addition de cet excédent.

Les parties du diagramme de la figure 4 comprises entre traits pleins et pointillés, aux endroits correspondant à l'étales supérieure et inférieure, représentent les dépenses d'énergie nécessitées par le pompage pour obtenir la surélévation du niveau du réservoir P et l'abaissement du niveau du réservoir R.

Cet appel d'énergie pour le pompage rend la puissance produite au moyen du cycle Claude plus variable encore que celle assurée par le cycle Maire.

Nous verrons par la suite, en étudiant la régularisation de cette énergie, si l'intervention des pompes donne un bénéfice appréciable et proportionné à l'importance des turbines ainsi que des pompes à installer en supplément.

Caractéristiques du cycle Etat. — Ce cycle ne comporte que l'emploi d'un seul réservoir, d'une superficie que nous avons fixée à 40 hectares dans cet exemple (1); mais, comme nous le verrons plus loin,

(1) Cette superficie est équivalente à celle adoptée pour la réservoir P du cycle Defour dont le travail est presque analogue à celui du réservoir P du cycle Etat.

l'intermittence de l'énergie produite exige l'intervention à chaque marée d'une usine de secours avec un autre réservoir, suivant le principe adopté par l'Etat pour son usine d'essai à l'Aber-Vrach.

Nous examinerons d'abord le rôle du réservoir principal; celui du réservoir de l'usine de secours hydraulique envisagé sera considéré par la suite.

Le réservoir principal fonctionne à double effet : au

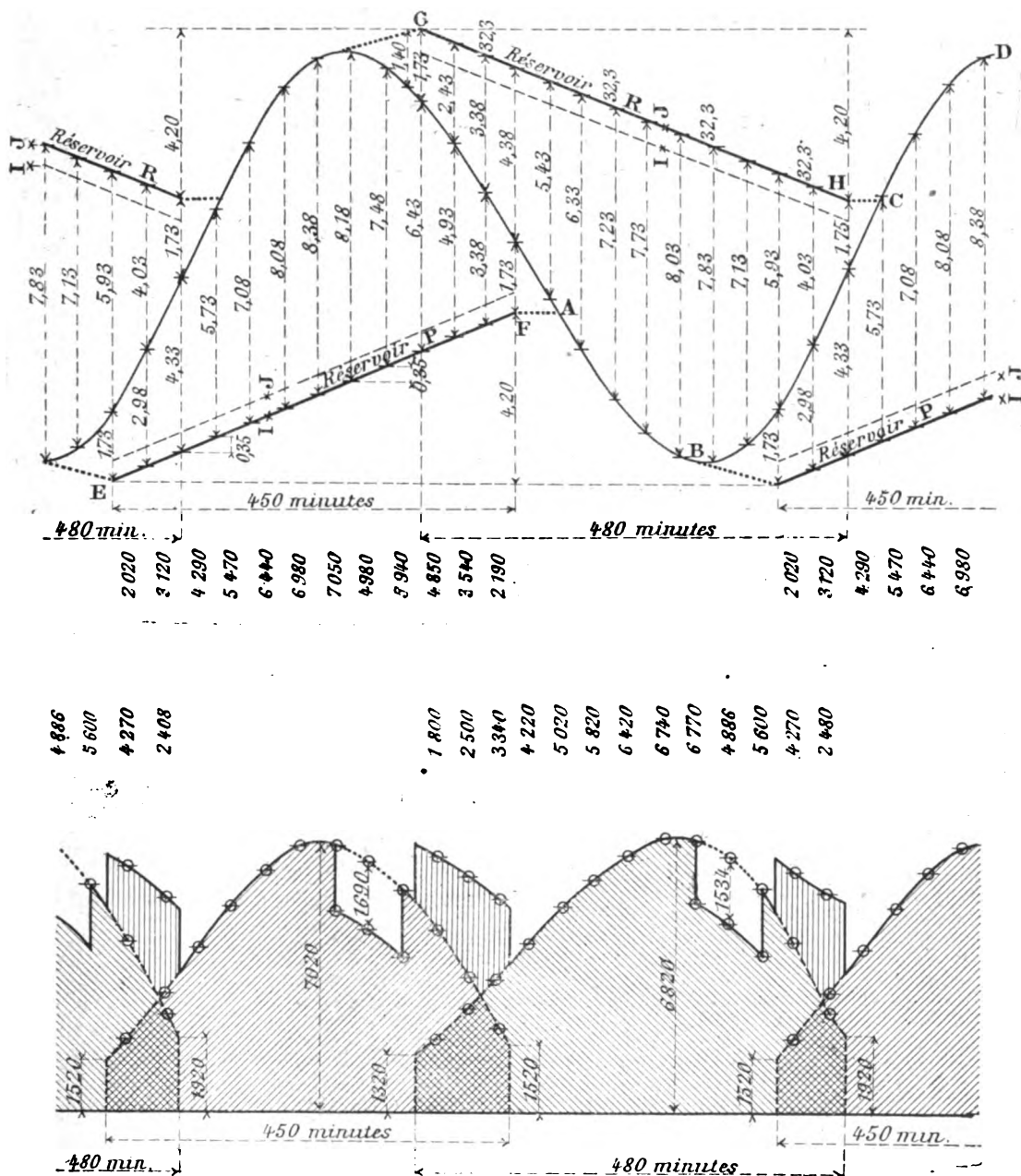


Fig. 3. — Cycle du système Claude. — Fig. 4. Diagramme des puissances obtenues en chevaux.

remplissage lors du flux et à la vidange lors du reflux.

Le fonctionnement s'effectue en deux phases.

Première phase. — Le flux s'est élevé, dans l'exemple de la figure 5, à une hauteur de 0,68 m au-dessus de l'étales inférieure. Le réservoir se remplit en recevant l'eau à travers des turbines. La hauteur de

chute de 0,68 m en A s'élève à 4,40 m en B, pour se terminer à 1,10 m en C au moment de l'étales supérieure.

On ferme alors les chambres des turbines et on ouvre la ventellerie de remplissage pour faire le plein du réservoir, de C en D.

Deuxième phase. — Le reflux étant descendu d'une hauteur de 0,91 m prise du niveau de l'étape supérieure, le réservoir se vide alors vers la mer par l'intermé-

diaire des turbines. La chute débute à 0,91 m en E, s'élève à 5,60 m en F et se termine à 0,91 m en G.

L'examen de la figure 5 permet de constater qu'à la

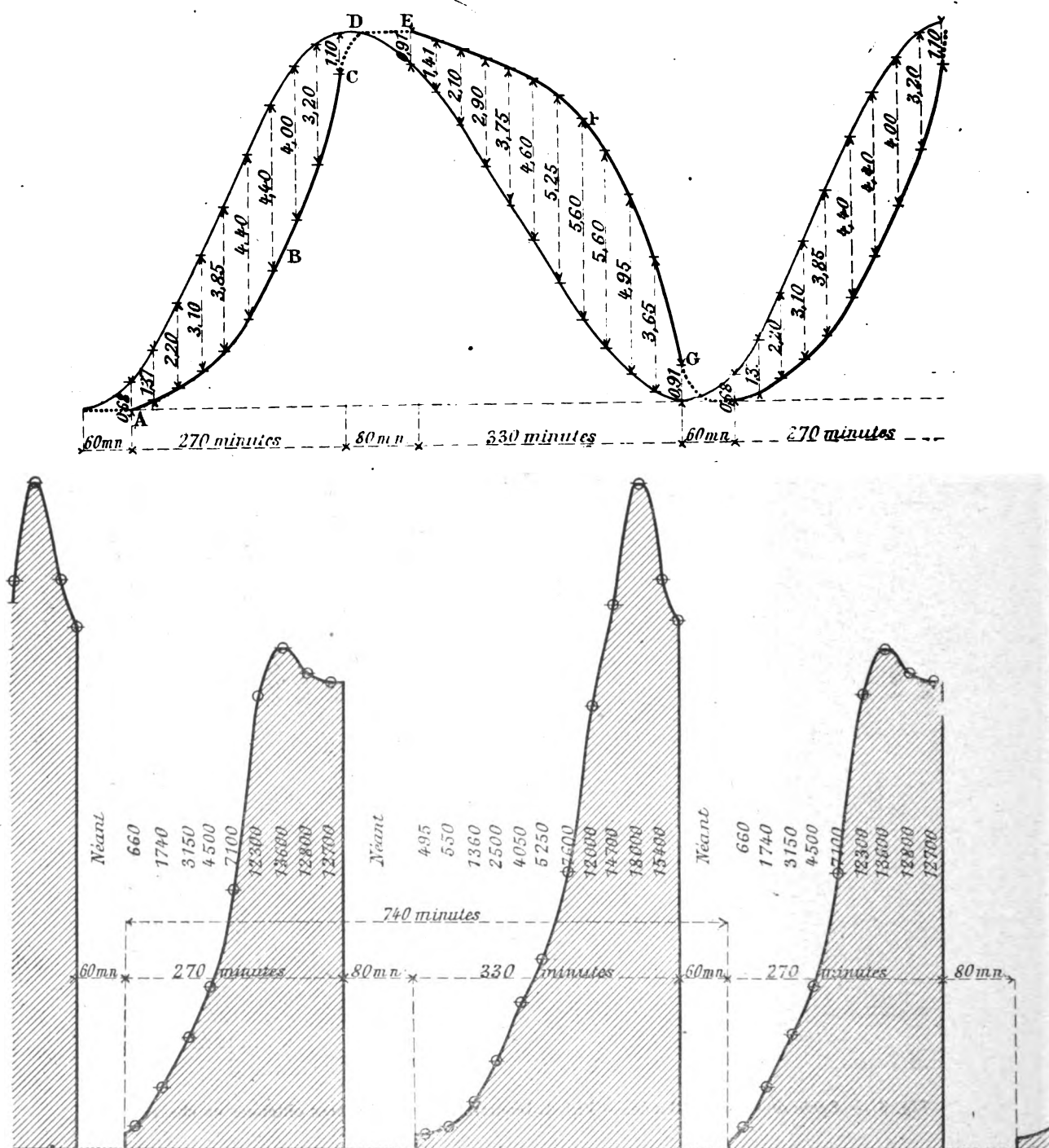


Fig. 5. Cycle du système Etat. — Fig. 6. Diagramme des puissances obtenues en chevaux.

chute la plus faible dans ce cycle correspond le débit le plus faible au début des deux phases, et qu'il est impossible d'éviter cet inconvénient si l'on veut obte-

nir une chute maximum en B et F, cette forte chute ne pouvant s'obtenir qu'en creusant autant que possible les courbes A B C et E F G.

La figure 6 représente le diagramme des puissances obtenues; celles-ci débutent par 660 ch, s'élèvent à 13 600 ch et se terminent par 12 700 ch à la première phase.

Entre la première et la seconde phase, la production d'énergie est absolument interrompue pendant quatre-vingts minutes suivant cet exemple.

A la seconde phase, la puissance débute à 495 ch, et s'élève à 18 000 ch pour se terminer à 15 400 ch.

Entre la deuxième phase, et le début de la première de la marée suivante, l'énergie produite est nulle pendant soixante minutes.

Ce cycle oblige à l'installation d'une puissance maximum exagérée, et ne permet cependant d'obtenir qu'une énergie intermittente et on ne peut plus variable.

Caractéristiques du système Defour. — Ce système assure la production d'une puissance uniforme pendant la durée de chaque marée. Il comporte l'emploi de deux réservoirs dont les superficies respectives ont été choisies, pour les calculs, égales à 40 et 77 hectares, la somme de ces superficies étant sensiblement la même que celle des superficies des réservoirs envisagés dans les cycles Maïre et Claude.

Les deux bassins Defour ne communiquent pas entre eux, mais on peut les mettre séparément en communication avec la mer, pendant les phases respectives du cycle de fonctionnement, afin de les faire travailler soit au remplissage, soit à la vidange.

On désignera encore par la lettre R le plus grand réservoir, dont le radier est à un niveau positif, et par la lettre P le plus petit bassin, dont le fond est au niveau des plus basses mers de l'endroit.

Le fonctionnement des deux bassins s'opère en quatre phases et on peut comprendre facilement le mécanisme si on se reporte au diagramme de la figure 7 correspondant à une marée de 10 m.

Le flot s'effectue en 330 minutes et le jusant en 410 minutes.

Dans ce diagramme, la lettre M désigne la courbe de la marée de 10 m, P la courbe de niveau du petit réservoir R la courbe de niveau du grand bassin.

La succession des mouvements est la suivante :

Première phase. — Dans cette phase, représentée en AB sur la figure 7, le niveau du réservoir P s'élève de 7,42 m, en recevant l'eau à travers des turbines.

Deuxième phase. — Elle correspond à la partie CD de la figure. On ouvre des vannes pour que le réservoir P achève de se remplir en même temps que la mer arrive à l'étale supérieure, et l'on fait intervenir le réservoir R. Comme le niveau de l'eau est maintenu bas dans ce réservoir, il peut fonctionner en se remplissant à son tour, par l'intermédiaire des turbines, d'une hauteur de 1,81 m. Pendant ce temps, on a fermé les vannes du réservoir P lorsque la mer était au niveau de l'étale supérieure, de sorte que ce niveau y est conservé.

Troisième phase. — Elle est représentée en EF. La

mer ayant descendu, son niveau présente alors, avec celui du réservoir P maintenu à l'étale supérieure, une différence suffisante pour obtenir par l'alimentation des turbines la puissance constante désirée. On met donc de nouveau en communication le réservoir P avec la mer, mais en sens inverse de celui de la première phase; le réservoir se vide dans la mer, par l'intermédiaire des turbines, d'une hauteur de 6,95 m.

Au début de cette phase, on a ouvert les vannes du réservoir R pour qu'il se remplisse rapidement, puis on les a refermées.

Quatrième phase. — Cette phase correspond à la partie GH de la figure. La mer ayant descendu davantage et le bassin P ayant continué à se vider, la différence de niveau entre P et la mer devient insuffisante, pour continuer à assurer la puissance constante voulue; on ouvre les vannes de P pour qu'il achève rapidement de se vider, et en même temps on fait de nouveau fonctionner le réservoir R qui se vidange d'une hauteur de 1,95 m à travers les turbines.

Au début de la première phase de la marée suivante, le réservoir R se vidange vers la mer. Le flux a atteint alors la hauteur voulue et le cycle recommence comme il a été dit au début de cet exposé.

Dans le cycle Defour, les lignes AB, CD, EF et GH déterminant la dénivellation des réservoirs P et R, sont creusées de façon à ménager un débit dans les réservoirs qui augmente lorsque la chute diminue, et inversement. La multiplication de la hauteur de chute moyenne au cours d'une opération par la hauteur qui correspond dans le réservoir au volume d'eau débitée au cours de la même période donne comme produit une constante, ce qui maintient invariable l'expression de la puissance produite.

Les puissances assurées par ce cycle sont figurées sur le diagramme de la figure 8 et passent de 7 620 ch à 7 190 ch, à 7 200 ch et à 7 890 ch. La variation peut être amortie par les régulateurs des turbines. Elle provient uniquement, d'ailleurs, de ce que l'on s'est contenté dans les calculs d'exprimer les hauteurs de chute et de débit en centimètres au lieu de pousser plus loin les fractions décimales.

Considérations générales concernant l'utilisation des divers cycles. — Bien que les caractéristiques reproduites dans les figures 1 à 8 soient presque suffisantes à elles seules, pour définir de façon assez nette les quatre cycles que nous mettons en présence, nous croyons utile d'y ajouter quelques indications complémentaires.

Sans doute il faut reconnaître, tout en préconisant à ce point de vue le cycle Defour, que l'obtention d'une puissance naturelle constante pendant toute la durée d'une marée, ne résout pas radicalement tous les problèmes qui se posent en pratique, car l'énergie obtenue doit se prêter aux besoins de la clientèle du secteur desservi par l'installation marémotrice considérée.

D'ailleurs, la plus grosse difficulté résulte du fait connu que les amplitudes des marées de mortes eaux

moyennes sont à celles des marées de vives eaux moyennes, dans la proportion de 5,10 à 11,00 environ et qu'une marée de 5 m d'amplitude, par exemple, n'assure plus, par suite de l'intervention dans l'expression de la puissance du produit des deux facteurs hauteur de chute et hauteur de dénivellation du débit du réservoir, qu'une puissance égale à 25 pour 100 de celle qui correspond à l'amplitude de 10 m.

Le fait d'utiliser un cycle assurant une puissance constante pendant la marée ne saurait donc éviter à l'installation la sujétion d'avoir à faire appel à un secours approprié pendant les marées de mortes eaux, mais ce secours n'intervient plus, lorsque la puissance est constante pendant toute la durée d'une marée, que dans la proportion d'un septième de l'énergie totale de l'année, ainsi qu'on pourra le constater plus loin au

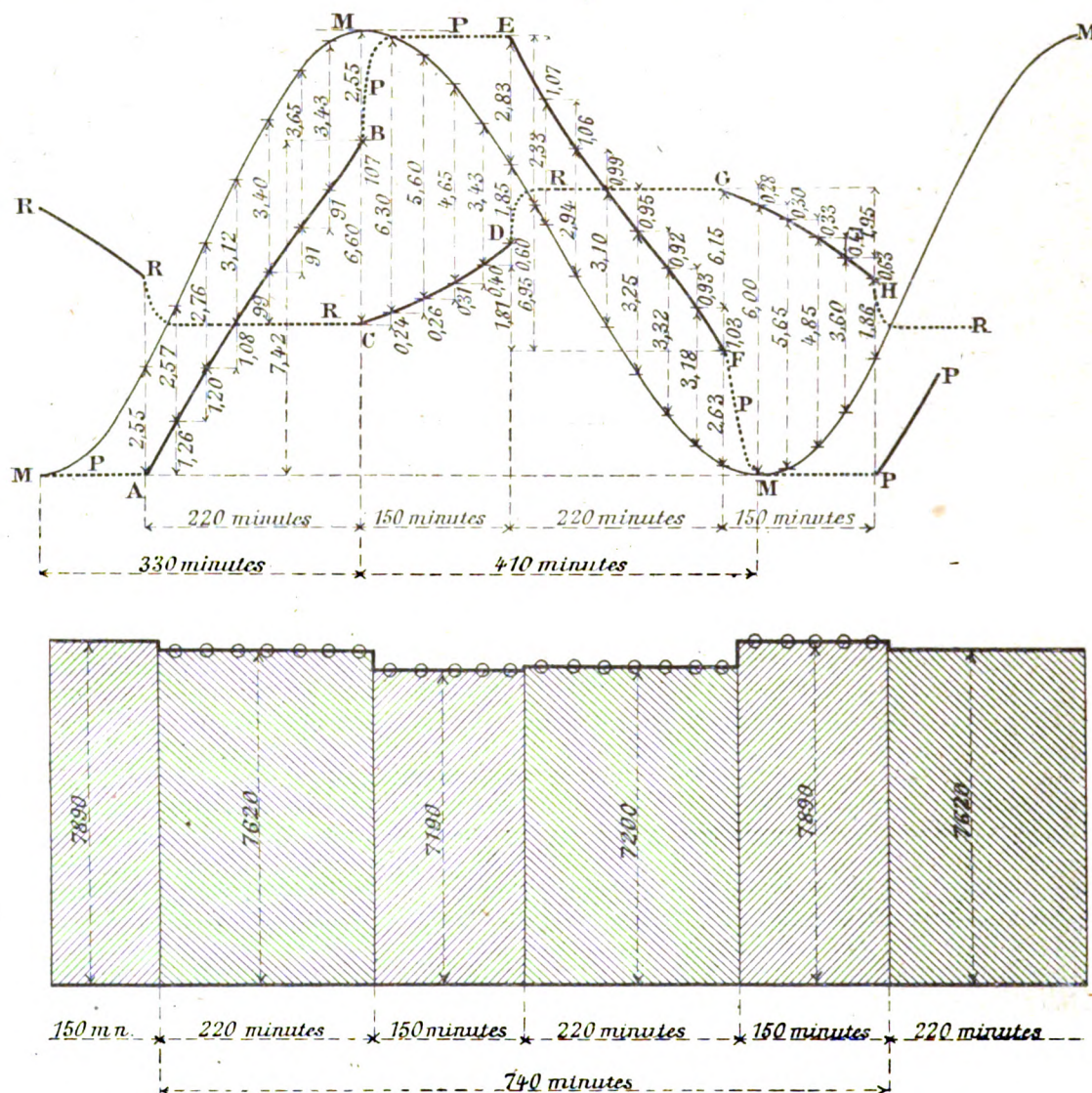


Fig. 7. Cycle du système Defour. — Fig. 8. Diagramme des puissances obtenues en chevaux.

cours de la présente étude. Dès lors on ne doit jamais, pour la seule raison qu'un secours thermique ou hydraulique est nécessaire pour amortir les mortes et les vives eaux, exagérer l'importance de ce secours en utilisant un cycle qui gaspille l'énergie des marées, en lui faisant subir, sans raison, des pertes de rendement qui auront inévitablement pour effet d'enlever à l'utilisation des marées tout le bénéfice que l'on est en droit d'en attendre.

Le but véritable à se proposer, c'est de produire, au moyen d'une usine ayant une puissance maximum relativement faible en turbines et en pompes, c'est-à-dire avec une installation n'entraînant pas de grands frais d'établissement, une énergie qui soit au contraire aussi élevée que possible, et qu'on puisse assouplir facilement aux besoins d'une clientèle quelconque.

Ces considérations montrent qu'on ne doit pas s'en tenir à la comparaison des différents cycles pour une

marée d'une amplitude moyenne et que, non seulement il faut en étudier les variations de puissance au cours de cette marée moyenne, mais encore les variations et la régularisation au cours d'une série de marées formant une période.

Il semblerait a priori que la période en question doive correspondre à la durée d'une lunaison, c'est-à-dire à une période entière de vingt-huit jours ; mais l'analyse des éléments fournis par l'« Annuaire des Marées » établit qu'on peut, en réalité, obtenir l'approximation voulue en se limitant à vingt et un jours consécutifs quelconques ⁽¹⁾.

Nous avons donc maintenant à étendre aux marées de cette période de 21 jours l'étude qui vient d'être faite pour la marée de 10 m d'amplitude. Naturellement nous ne pouvons tenir compte, dans cette extension, des particularités que présentent les applications projetées des divers cycles et on ne doit pas s'attendre à retrouver ici celles qui caractériseraient respectivement l'application du système Maire à la Rance, du système Etat à l'Aber-Vrach, ni du système Defour à Rothéneuf. Pour comparer ces cycles, il leur fallait une commune mesure, et c'est en les supposant appliqués tous aux marées de la région de Saint-Malo que l'on a pu établir, au prix d'un travail et de calculs d'ailleurs considérables, le parallèle que préciseront les paragraphes et les diagrammes qui vont suivre.

Mais avant de faire cette extension, il convient de faire entre le cycle Maire et le cycle Claude une comparaison dont le résultat sera utilisé dans la suite.

Comparaison entre le cycle Maire et le cycle Claude. — Si on applique au cycle Maire le principe proposé par M. G. Claude, on peut constater (fig. 3) que l'énergie sera exigée par les pompes juste au moment où la puissance commence à diminuer.

En effet, suivant les indications de M. G. Claude, le pompage commence dès que le flux atteint l'étale supérieure, le bassin utilisé ayant fait son plein durant le flux et ayant pris le même niveau que la mer.

La hauteur de 0,75 m spécifiée pour 13 m d'ampli-

⁽¹⁾ On admet communément que les amplitudes des marées se succèdent suivant une loi périodique. Si on voulait trouver une rigueur absolue dans la loi de récurrence de ce phénomène, ce ne serait pas trop que d'envisager comme période une durée de sept années, mais pour aucune application pratique il n'est nécessaire d'envisager une période dépassant vingt et un jours.

D'une part, à chaque pleine ou nouvelle lune correspond une série de marées de vives eaux, et, d'autre part, chaque position en quadrature du Soleil et de la Lune, est suivie d'une série de marées de mortes-eaux.

L'amplitude des marées passe ainsi, tous les sept jours, des mortes eaux aux vives eaux ou des vives eaux aux mortes eaux.

Si nous additionnons, au hasard dans l'année, les amplitudes des marées de vingt et un jours consécutifs, tous ces totaux donnent à 10 près la même moyenne, de sorte que cette durée de vingt et un jours pourra être considérée comme une période permettant de régulariser les mortes et les vives eaux, sans encourir le risque de rencontrer de grandes différences d'une période à une autre.

tude par M. Claude correspond à 0,58 m pour une amplitude de 10 m.

Le volume d'eau à élever en soixante minutes est déterminé par le produit des deux facteurs suivants :

Superficie du réservoir..... 550 000 m².
Hauteur..... × 0,58 m.

Ce qui donne pour le volume d'eau, 319 000 m³.

La hauteur de pompage maximum étant de 1,40 m (voir fig. 3) alors que le minimum est nul, il en résulte pour la hauteur moyenne une valeur égale à 0,70 m,

Pendant soixante minutes, il sera nécessaire d'utiliser pour ce pompage une puissance de

$$\frac{319\,000\,000 \times 0,70 \times 2}{60 \times 60 \times 75} = 1\,690 \text{ ch } ^{(1)},$$

ce qui représente une consommation d'énergie de pompage de 1 690 chevaux-heure.

Il ressort de l'examen des figures 2 et 4 que la puissance moyenne produite suivant le cycle de M. Maire par la marée de 10 m envisagée, au moment de l'alimentation, s'élève à 4 360 ch, et que la puissance moyenne correspondante du cycle Claude est de 4 880 ch. La différence est de 520 ch, mais, si on tient compte de l'énergie nécessitée par le pompage, on trouve que la réduction moyenne qu'elle apporte à la puissance ainsi

obtenue est de $\frac{1\,690}{6} = 280$ ch (puisque la durée de la phase affectée par ce prélèvement d'énergie de pompage est de six heures), de sorte que le produit net de l'opération équivaut à une puissance de

$$520 - 280 = 240 \text{ ch.}$$

En procédant suivant le même principe lors de l'étale inférieure, de façon à descendre de 0,58 m le plan d'eau du réservoir, on opère sur un volume d'eau qui est le produit des deux facteurs suivants :

Superficie du réservoir..... 510 000 m².
Hauteur..... × 0,58 m,

Ce qui donne pour le volume d'eau, 295 000 m³.

Les limites de hauteur de pompage étant, comme précédemment, égales à 1,40 m et à 0, on a la même hauteur moyenne de pompage, de 0,70 m, à faire en soixante minutes, ce qui exige une puissance de

$$\frac{295\,800\,000 \times 0,70 \times 2}{60 \times 60 \times 75} = 1\,534 \text{ ch}$$

et représente une consommation d'énergie de pompage égale à 1 534 chevaux-heure.

La puissance moyenne produite par le cycle Maire pendant la vidange, pour la marée de 10 m envisagée, s'élève à 4 200 ch et la puissance brute correspondante

⁽¹⁾ Dans cette formule, le facteur 2 tient compte du rendement des turbines et des pompes.

du cycle Claude atteint 4 700 ch de sorte que l'excédent brut est 500 ch.

L'énergie de pompage s'élevant à 1 534 ch-h et son prélèvement affectant pendant sa durée d'une heure une période de récolte d'énergie qui dure 6,5 heures, on obtient la puissance moyenne nette recueillie en défalquant de l'excédent de puissance brute due au pompage le quotient $\frac{1\,534}{6,5}$ soit 236 ch.

L'excédent net est donc de $500 - 236 = 264$ ch.

En définitive le pompage permettrait de réaliser un excédent de puissance moyenne de 240 ch au flux et de 264 ch au reflux, mais il obligerait à installer une puissance de pompes au moins égale à 1 700 ch ainsi qu'un complément de turbines et de ventellerie répondant à $8\,183 \text{ ch} - 7\,570 \text{ ch} = 613 \text{ ch}$ (1).

(A suivre.)

A. DEFOUR.

Les redresseurs à vapeur de mercure avec considération particulière du courant inverse

L'auteur fait, tout d'abord, ressortir les facteurs susceptibles de favoriser la formation du courant inverse ; telles sont la tension appliquée, la pression de la vapeur de mercure et, surtout, celle des gaz résiduels. Ce courant inverse est dangereux parce qu'il est capable d'amorcer, entre anodes, un court-circuit qui ne permet pas d'imposer à un redresseur à vapeur de mercure une puissance trop élevée. Après avoir signalé quelques dispositifs brevetés destinés à atténuer les conséquences nuisibles du contre-courant, l'auteur décrit un modèle d'ampoule auquel il a donné une configuration telle que la vapeur de mercure puisse refouler les gaz résiduels vers l'orifice d'aspiration de la pompe à vide, ce qui assure leur élimination totale, le tout complété par un écran qui empêche les vapeurs de mercure d'arriver jusqu'aux anodes.

Le plus grave inconvénient des redresseurs, celui qui a longtemps limité leur emploi, c'est le court-circuit entre anodes. On a même pu croire, pendant quelque temps, que le redresseur serait, de ce fait, limité à un potentiel continu de 500 v.

En principe, le redresseur est un appareil à résistance variable. Dans un sens, le courant peut passer sans grande chute de tension : une vingtaine de volts au maximum, et cette perte de tension diminue avec l'intensité, l'arc se comportant comme une résistance négative. Dans l'autre sens, le courant est pratiquement nul vis-à-vis du courant principal. Toutefois, il n'en existe pas moins, si faible qu'il soit. Son intensité augmente avec la tension appliquée, avec la pression de la vapeur de mercure et, surtout des gaz résiduels (1). D'autres phénomènes atténuent également l'effet de soupape : des vapeurs neutres émises en abondance par la cathode incandescente et créant sans doute des surpressions locales ; des rayons ultra-violet, émanant de la tache cathodique et augmentant la conductivité de l'atmosphère raréfiée du redresseur.

Lorsque, pour l'une quelconque des causes ci-dessus, l'intensité du contre-courant vient à augmenter, il peut se former, sur une anode, un point cathodique, et le court-circuit s'amorce entre cette électrode et celle des anodes qui se trouve en ce moment au potentiel le plus élevé : celle précisément qui est en travail, puisque seule travaille l'anode dont le potentiel est maximum. Une gouttelette de mercure condensée sur l'électrode négative est un point faible où la tache cathodique se formera de préférence.

Pour se rendre compte de l'amorçage des court-cir-

cuits, on peut employer un tube avec anode supplémentaire d'excitation (fig. 1). On applique une tension alternative entre l'anode principale et la cathode après avoir allumé l'arc d'excitation. En M, on mesure l'effet redresseur d'une façon quelconque, par exemple en comparant les indications d'un ampèremètre ther-

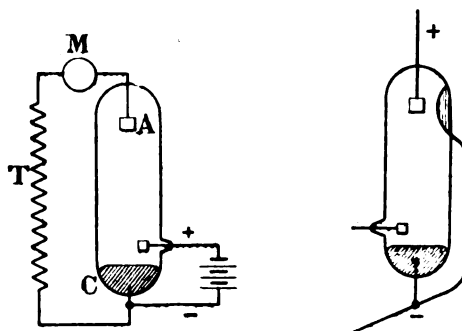


Fig. 1 et 2.

mique avec celles d'un ampèremètre à aimant permanent. L'effet redresseur décroît quand on chauffe le tube, augmentant ainsi la pression intérieure. En

(1) Ce résultat prouve que l'adjonction du pompage au cycle de M. Maire ne l'améliore pas sensiblement et que le principe que M. G. Claude présente comme une amélioration du cycle, apparaît plutôt comme défavorable, si on considère que l'excédent de puissance obtenue est insignifiante vis-à-vis de la puissance à installer, sans compter que la production d'énergie devient, de par l'emploi de ce principe, plus variable encore qu'elle ne l'était avec le cycle primitif. Cependant nous ne nous contenterons pas de cette preuve et nous continuerons l'étude de ce cycle et calculerons en kilowatts-heure la production annuelle d'énergie régularisée, qu'on en peut tirer.

(1) On a noté 6 milliampères pour un courant redressé de 70 A sous 110 A 20 V.

même temps, la lueur violette entourant l'anode se resserre pour former un fuseau d'autant plus effilé que le tube est plus chaud. La résistance interne augmente. Si l'on dispose d'une tension suffisante, on peut arriver à allumer un arc en retour. Cet amorçage est grandement facilité si l'on dispose près de l'anode un conducteur relié à la cathode : une plaque entourant plus ou moins le tube dans sa partie supérieure. Mais, en même temps, ce dispositif rend plus difficile l'amorçage dans le sens normal.

Pour lutter contre les dangers de court-circuit, on a d'abord refroidi énergiquement la cathode, empêchant ainsi une vaporisation trop intense du mercure. On a disposé au-dessus d'elle la chambre de condensation dans laquelle montent les vapeurs dégagées. On a, enfin, entouré les anodes de gaines protectrices, les mettant à l'abri des rayons ultra-violetts émis par la tache cathodique, et on a adopté une température d'anode élevée pour que le mercure ne vienne pas s'y condenser.

Un vide élevé est le meilleur moyen de combattre les court-circuits. On peut arriver à rapprocher considérablement les anodes quand le redresseur est exempt de gaz étrangers ⁽¹⁾ et que l'atmosphère de vapeur est assez refroidie pour que la pression soit faible.

En pratique, c'est le danger des court-circuits qui limite la puissance exigible d'un redresseur. Avant toute chose, la cuve doit être calculée pour que la température à pleine charge ne dépasse pas une soixantaine de degrés. Dans un avant-projet de redresseur on peut, en première approximation, supposer le rendement de l'appareil égal à 38,5 pour 100.

Afin d'assurer à l'appareil un fonctionnement régulier, on a avantage à limiter les déplacements de la tache cathodique à la surface du mercure et à isoler l'arc des parois du récipient, comme dans les redresseurs Brown-Boveri qui comportent une cathode isolée et une sorte d'écran double formant un cône renversé qui enveloppe les anodes. D'autres constructeurs préconisent un simple cylindre isolant, flottant sur le mercure. De toute façon, il faut prévoir le retour à la cathode des gouttelettes condensées le long des parois.

Il convient de citer le très curieux dispositif de la maison Siemens-Schuckert. La cathode est annulaire, et son centre est occupé par un pôle d'électro-aimant disposé de telle sorte qu'un flux de fuites important se fasse au-dessus du mercure. Sous l'action de ce champ magnétique, l'arc tend à tourner, entraînant la tache cathodique qui se déplace ainsi régulièrement, évitant tout échauffement local excessif et, par conséquent, toute émission anormale de vapeur de mercure.

Les transformateurs d'alimentation ne sont en principe que des multiplicateurs de phases. On a intérêt à en avoir le plus grand nombre en parallèle, car ils ont une résistance intérieure négative et l'un quelconque d'entre eux tendrait, par conséquent, à absorber toute la charge au dépens des autres dès que son courant

propre viendrait à augmenter. On les munit d'une self-induction polyphasée qui contre-balance cet effet et leur assure une caractéristique normale semblable, si besoin est, à celle d'une commutatrice.

Une forme spéciale de redresseur a donné de bons

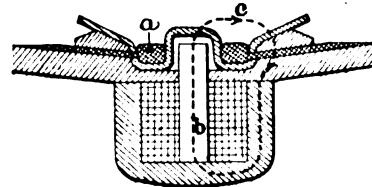


Fig. 3. — Dispositif Siemens-Schuckert.

a, mercure de la cathode; b, noyau de l'électro-aimant; c, ligne de force du flux de fuites.

résultats à l'auteur, durant les essais qu'il en a faits. Elle repose sur les considérations suivantes :

La condition essentielle pour obtenir un fonctionnement satisfaisant des redresseurs est d'éliminer avec soin toute trace de gaz étranger autour des anodes. On y parvient au moyen de la pompe à vide après un fonctionnement assez long et répété, car les parois de la cuve et le mercure lui-même contiennent des gaz occlus qui se dégagent peu à peu. Ce dégagement lent est tellement marqué que le métal poli devient rugueux au bout de quelque temps de service. La Société Westinghouse a renoncé, pour les électrodes mobiles du dehors, aux coussinets métalliques qui arrivaient pour le motif précité à gripper avec leurs axes. Elle a adopté des coussinets en graphite qui ne présentent pas le même inconvénient.

Dans un appareil en marche, le courant de vapeur de mercure qui monte du point cathodique refoule devant lui les gaz étrangers, comme cela se produit

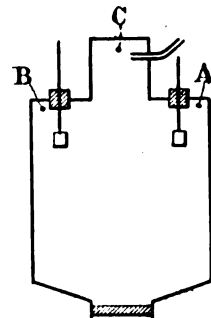


Fig. 4.

dans la pompe de Langmuir. Ces gaz tendent donc à s'accumuler dans toutes les parties de l'appareil où la vitesse de la vapeur est nulle. Ainsi, dans le redresseur figuré schématiquement ci-contre, les traces de gaz s'accumuleront en A, B et C. Or, les masses en A et B échapperont à l'action de la pompe dont le tube débouche en C.

⁽¹⁾ Voir la description du redresseur Brown-Boveri dans la *R. G. E.*, du 20 novembre 1920.

Pour éviter cet inconvénient, il faudrait donner à la cuve du redresseur une forme telle que la vapeur de mercure refoulât les gaz de toutes parts vers le tube d'aspiration de la pompe. L'idéal serait d'obtenir une vitesse constante de la vapeur s'élevant du point cathodique, ce flot de vapeur évitant, autant que faire se peut, d'atteindre les anodes et de se condenser sur elles.

On a été ainsi amené à concevoir une cuve conique dont la cathode occupait la base, un écran protégeant les anodes contre l'afflux direct des vapeurs cathodiques.

L'appareil d'essai a été construit en verre. Pour se rapprocher des conditions pratiques, on y a enfermé des rognures métalliques contenant, évidemment, une assez grande quantité de gaz occlus. De plus, le mercure employé n'a pas été préalablement distillé dans le vide ainsi que cela devrait être fait.

Le cône était refroidi au-dessus des électrodes par une chemise d'eau à circulation descendante; les anodes (au nombre de trois) étaient portées par des prolongements du vase, un cylindre isolant entourait le point cathodique. Une électrode supplémentaire, non représentée, servait à l'amorçage au moyen d'un petit transformateur à haute tension. Le cylindre était entouré de rognures de fer.

Les résultats ont été très satisfaisants. La pompe reliée au tube T aspirait les gaz à mesure qu'ils se dégagèrent du fer et du mercure. La vapeur de mercure s'élevait, rencontrant des parois de plus en plus froides, et les gouttelettes condensées relombaient autour du cylindre, si bien que le mercure de l'appareil

reil décrivait un cycle fermé, aucune partie n'échappant à la distillation.

A chaud, après plusieurs heures de fonctionnement, l'appareil désamorçé a pu supporter une tension

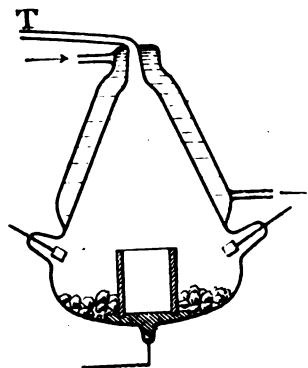


Fig. 5.

étoilée de 10000 v sans que l'arc s'amorçât soit entre les anodes, soit entre l'une d'elles et la cathode.

A froid, la tension a pu être portée à 20000 v, l'appareil se comportant comme un véritable isolateur.

Eu égard aux faibles dimensions de l'appareil (longueur de l'arc : 25 cm), ces résultats sont très encourageants et permettent d'espérer une puissance volumétrique plus grande sous une tension plus élevée, pour les redresseurs métalliques à gros débit.

Charles JOTTE.

Revue, analyses et informations

Essais d'échauffement des câbles (1).

Ces essais ont été exécutés par les soins de deux commissions formées de représentants de l'Institute of Electrical Engineers, dans trois laboratoires différents :

1° Dans le National Physical Laboratory, les mesures des températures ont porté sur vingt-sept échantillons de câbles établis pour basses tensions et pour hautes tensions jusqu'à 20000 v et comprenant des câbles à un et trois conducteurs et des câbles concentriques ; quelques-uns d'entre eux, pour la haute tension notamment, étaient armés, d'autres non armés ; la pose en était effectuée, soit directement dans le sol, pour les câbles armés, soit pour les câbles non armés, dans les passages de forme cylindrique ménagés dans des sortes de caisses en grès, ou dans des cuves également en grès ; dans ce dernier cas, suivant le procédé connu sous le nom de « solid system ». On a opéré sur des longueurs de canalisations variables (33 à 70 m pour la basse tension, 9 à 30 m pour la haute tension). Les températures des conducteurs, ainsi que du revêtement en plomb, ont été mesu-

rées par la méthode de l'augmentation de résistance.

Tous les câbles ont été d'abord mis en charge à l'air libre. Cet essai préalable a permis de constater que les câbles

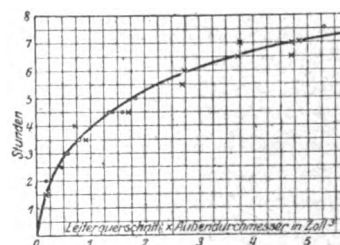


Fig. 1.

Stunden, heures ; Leiterquerschnitt, aussendurchmesser in Zoll, section du conducteur, diamètre extérieur en pouces.

armés et non armés se comportaient, au point de vue de l'échauffement, d'une façon à peu près identique ; l'enduit de peinture colorée recouvrant certains échantillons n'avait qu'une influence minime sur les résultats observés, lesquels

(1) E. T. Z., 24 novembre 1921, t. XIII, p. 1360-1362, 1800 mots, 7 fig., 3 tab.

par contre, variaient, à un degré plus marqué, suivant que l'enveloppe présentait un aspect mat ou brillant. Les chiffres trouvés étaient d'ailleurs sensiblement les mêmes pour les deux genres de courant, continu et alternatif.

Les figures 1 et 2 reproduisent, dans la forme graphique, une partie des résultats obtenus ; dans la première, les produits de la section des câbles par le diamètre extérieur ont été portés en abscisses, les ordonnées correspondantes indiquant l'intervalle de temps au bout duquel les divers échantillons, disposés à l'air libre, atteignent leur température maximum ; quant à la seconde, elle fait connaître les élévations de température en degrés centésimaux, subies, également à l'air libre, par une série de câbles de 96,8 mm² de section et pour 20000 V, en fonction de la charge en ampères. Le groupe de courbes tracées dans la partie supérieure de la figure est relatif aux conducteurs, le groupe inférieur s'appliquant aux revêtements en plomb.

Les données d'expérience obtenues avec les câbles posés dans le sol, suivant chacun des procédés déjà mentionnés, ont été consignées dans le tableau I.

Dans ce tableau, I_1 désigne la valeur du courant provoquant dans les câbles, disposés à l'air libre, une élévation de température déterminée, en régime stationnaire ; I_2 représente la valeur du courant produisant la même élévation de température, dans les mêmes câbles posés dans le sol. Le rapport $\frac{I_2}{I_1}$, comme on le voit, ne diffère point sensiblement, suivant que les câbles sont établis en cuve, d'après le procédé dit « solid system », ou qu'ils sont enfouis directement sous terre ; il en va tout autrement lorsque les câbles sont passés dans les conduits cylindriques de caisses en grès, le fonctionnement, au point de vue échauffement étant, dans ce cas, beaucoup moins satisfaisant.

Le tableau II montre la relation existant entre la température prise par les câbles, dans différentes conditions de pose,

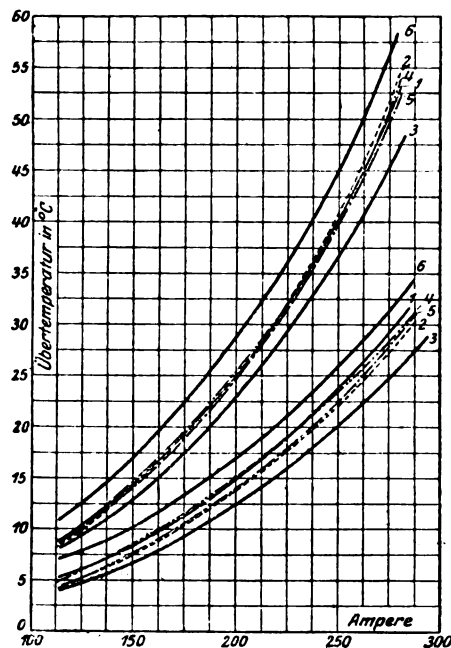


Fig. 2.

Über Temperatur in °C, élévation de température en °C ;
Ampere, ampères.

et le temps pendant lequel ils sont soumis à l'action d'une charge constante. Il apparaît immédiatement que les câbles

TABLEAU I.

| TYPE DE CÂBLE | SECTION mm ² | GENRE DE POSE | I_2 | I_1 | $\frac{I_2}{I_1}$ |
|--------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|-------|-------|-------------------|
| Câble à 1 conducteur..... | 64,5 | Solid-system..... | 266 | 216 | 1,23 |
| Id | 129 | Id | 432 | 350 | 1,23 |
| Câble concentrique..... | 64,5 | Id | 199 | 165 | 1,21 |
| Id | 129 | Id | 360 | 293 | 1,23 |
| Id | 64,5 | Armé, posé directement dans le sol | 215 | 176 | 1,22 |
| Id | 129 | Id | 335 | 275 | 1,22 |
| Id | 64,5 | Passé dans les conduits cylindriques de caisses en grès..... | 130 | 133 | 0,98 |
| Id | 129 | Id | 243 | 252 | 0,96 |
| Id | 322,6 | Id | 370 | 378 | 0,98 |
| Câble à 3 conducteurs pour basse tension.. | 64,5 | Id | 157 | 162 | 0,97 |
| Câble à 3 conducteurs pour haute tension.. | 64,5 | Id | 162 | 170 | 0,95 |

armés directement posés dans le sol s'échauffent le plus lentement.

Les courbes d'échauffement, déduites des essais, ont été utilisées pour le calcul de la résistivité thermique du diélectrique entourant, dans chaque câble, les conducteurs. On s'est servi, à cet effet, pour les câbles à un conducteur de la formule suivante :

$$K = \frac{2\pi(\theta_1 - \theta_2)}{Q \log_e \frac{d_1}{d_2}}$$

dans laquelle θ_1 désigne la température du conducteur, θ_2

celle de l'enveloppe en plomb, Q la quantité d'énergie en watts, dissipée sous forme de chaleur par unité de longueur (1 cm) de câble, d_1 le diamètre extérieur de l'enveloppe en plomb, d_2 le diamètre extérieur du conducteur. Il existe des relations analogues pour les câbles concentriques et les câbles à trois conducteurs.

L'application de ces différentes formules a conduit à des valeurs de K assez variables ; on se bornera ici à faire connaître les limites inférieures et supérieures trouvées pour des câbles de section et modèle divers avec l'indication des sections minima et maxima de ces derniers, dans chaque série, tableau III.

Les valeurs obtenues, antérieurement, par d'autres

TABLEAU II.

| DURÉE DE L'ESSAI HEURES | ACCROISSEMENT DE TEMPÉRATURE EN POUR 100 DE L'ÉLEVATION DE TEMPÉRATURE ATTEINTE AU BOUT DE 100 HEURES | | |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------|
| | câbles passés dans les conduits de caisses en grès | solid-system | armés, posés directement dans le sol |
| 7 1/2 | 85 | 88 | 85,5 |
| 20 | 88 | 92,5 | 91,4 |
| 40 | 99,0 | 95,5 | 93,1 |
| 60 | 99,8 | 97,0 | 95,8 |
| 80 | 99,8 | 98,8 | 97,9 |
| 100 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

TABLEAU III.

| TYPE DE CÂBLE | SECTION mm ² | | VALEURS DE K | |
|-------------------------------------------------|----------------------------|--------|--------------|--------|
| | maxima | minima | maxima | minima |
| Câble à 1 conducteur pour basse tension..... | 129 | 64,5 | 1 300 | 620 |
| Câble concentrique pour basse tension..... | 129 | 129 | 1 060 | 720 |
| Câble à 3 conducteurs pour basse tension... | 16,1 | 16,1 | 1 050 | 1 050 |
| Câble à 3 conducteurs pour haute tension. .. | 161 | 32,2 | 730 | 420 |

auteurs avaient été de 418 à 905 (Teichmüller et Hermann) et de 1235 (Powell).

Les essais du National Physical Laboratory ont également porté sur la détermination de la température du sol au voisinage de câbles posés sous terre ; les mesures effectuées, au cours d'une période de quatre années, ont permis de constater que cette température n'est pas descendue au-dessous de 3°C, mais s'est élevée par contre à 18°C pendant la saison d'été.

2° La Newcastle-upon-Tyne Electric Supply Co a étudié,

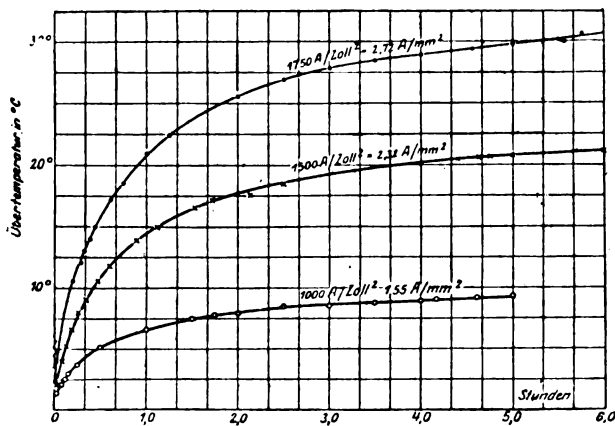


Fig. 3.

en particulier, l'influence exercée sur l'échauffement des câbles par la profondeur à laquelle ces derniers sont enterrés dans le sol. Des câbles armés à trois conducteurs ont été, dans ce but, posés en terre à des distances de 0,45 m,

0,75 m et 1,35 m de la surface du sol. En prenant comme terme de comparaison l'élévation de température observée à la distance la plus faible, les chiffres obtenus, aux distances plus grandes, ont été trouvés supérieurs, dans la proportion de 4 et 15,7 pour 100, respectivement.

3° Le laboratoire de la Liverpool University s'est occupé exclusivement des essais d'échauffement de câbles posés sous terre d'après le procédé dit « solid system ». Les câbles soumis aux expériences, à un conducteur, étaient disposés comme l'indique la figure 3, leur axe à 0,9 m environ au-dessous de la surface du sol.

La figure 4 reproduit les résultats obtenus pour un câble de 161 mm² de section pour des densités de courant de

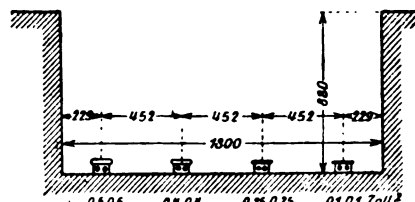


Fig. 4.

Über-temperatur in °C, élévation de température en degré C; Stunden, heures; 1750 A/zoll² = 2,72 A/mm², 1750 A : pouce carré = 2,72 A : mm²; 1500 A/zoll² = 2,32 A/mm², 1500 A : pouce carré = 2,32 A : mm²; 1000 A/zoll² = 1,55 A/mm², 1000 A : pouce carré = 1,55 A : mm².

1,55, 2,32, 2,72 A/mm². On voit qu'au bout de six heures le régime stationnaire de température n'est pas encore établi pour des câbles posés d'après le système correspondant.

La résistivité thermique du diélectrique des câbles essayés, calculée ainsi qu'il a été indiqué plus haut, a été trouvée comprise entre 487 et 536.

CONCLUSION. — La discussion qui a suivi la présentation des communications résumées ci-dessus a abouti à la conclusion, partagée d'ailleurs par les rapporteurs eux-mêmes, que les expériences effectuées ne pouvaient être considérées comme apportant la solution définitive de la question de l'échauffement des câbles dont l'étude devrait continuer à faire l'objet de nouveaux essais à conduire d'une façon systématique. — L. D.

L'interconnexion des stations centrales (1).

Le but de cette étude est, essentiellement, de montrer l'importance de la question du facteur de puissance dans les feeders de couplage, tant du point de vue technique que du point de vue économique. Dans le projet d'une interconnexion, deux questions se posent : quelle variation du facteur de puissance résultera d'une interconnexion avec une tension de survoltage donnée appliquée au feeder du couplage et, inversement, quelle surtension est nécessaire pour transmettre une certaine puissance à un facteur de puissance donné de la transmission ? Il n'existe pas actuellement d'équations simples pour la résolution de ces problèmes, et permettant un calcul rapide ; un appendice donne des formules pratiques.

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT GÉNÉRALES. — Il semble utile de préciser que la répartition d'une charge entre deux

(1) L. ROMERO et J.-B. PALMER, *Paper of The Institution of Electrical Engineers*, présenté le 5 février 1911, 12 pages, 9 figures, 11 000 mots.

stations dépend uniquement du réglage des admissions de vapeur aux machines ; le simple réglage des excitations ne provoque pas des échanges de kilovolts-ampère sans puissance (la seule puissance active en jeu est celle correspondante à l'effet Joule dans le feeder de couplage). Comme il sera décrit plus bas, un réglage d'excitation, simultané avec un réglage de l'admission, est nécessaire dans certaines conditions. Après avoir produit un diagramme vectoriel expliquant le rôle de l'impédance du feeder de couplage sur le déphasage des tensions à ses deux extrémités, les auteurs posent les trois conditions principales de relations de tensions, dans lesquelles on peut transmettre de la puissance active entre deux stations : 1° *Tensions constantes et égales aux deux stations* : le facteur de puissance moyen de la transmission restera constant et « en avant », les facteurs de puissance aux stations variant (dans de faibles limites) dans des sens opposés lorsque la charge varie ou change de direction ; 2° *tensions constantes mais inégales* : le facteur de puissance de la transmission variera de « en arrière » à « en avant » si la charge croît et vice versa. Cette méthode ne correspond qu'au cas de transmission dans un seul sens ; 3° *Tensions variables avec la charge au moyen de survolteurs ou autres appareils* : le facteur de puissance peut être maintenu constant à toute valeur désirée, dans les limites des variations de tensions provoquées.

Le cas 1 pourrait s'appliquer à une ligne connectant deux centrales ayant chacune une charge à facteur de puissance unité ou voisine de l'unité, et là où il est nécessaire d'inverser rapidement l'échange de puissance. Malheureusement, la majorité des centrales sont incapables de recevoir et d'absorber dans leurs réseaux une forte charge à facteur de puissance « en avant » ou même « unité », sans subir de troubles dans leur fonctionnement ; la méthode n'a donc qu'un champ d'application limité, à moins de prendre des mesures spéciales pour assurer la fourniture de l'énorme énergie réactive quelquefois exigée. Ce dernier point sera examiné plus loin. Le cas 2 permet de transmettre une charge donnée à n'importe quel facteur de puissance désiré ; mais, toute inversion du sens de l'échange s'effectue à un faible facteur de puissance « en avant ». Le cas 3 semble devoir être le plus fréquent ; la variation de tension peut être obtenue : a) par variation sur les barres de l'une ou des deux stations ; b) par introduction d'un survolteur dans le feeder de couplage ; ce dernier procédé est généralement le seul applicable ; le survoltage peut s'effectuer par régulateurs d'induction, ou par transformateurs survolteurs à prises multiples et réglage cran par cran, ou par des prises de réglage sur les transformateurs principaux.

TYPES DE RÉGULATEURS. — Pour les grosses puissances et les hautes tensions, le réglage cran par cran est peu pratique à cause de la difficulté d'établir un enclenchement à commande à distance devant connecter les prises multiples des transformateurs survolteurs ou principaux dans la séquence convenable sans couper le circuit ; les types à contacteurs ou à panneau sont limités à la tension de 3 000 v. Le régulateur d'induction est un transformateur ayant un enroulement mobile par rapport à l'autre ; il peut être bobiné pour ou plus 11 000 v ; son réglage correspond à celui d'un transformateur ayant un nombre infini de prises. Dans le régulateur d'induction triphasé, la tension induite secondaire reste constante en grandeur, la tension résultante étant obtenue par la variation du déphasage entre la tension appliquée et la tension induite. Dans le cas du couplage de deux stations, l'introduction du déphasage produit par l'appareil peut être un avantage dans certains

cas ; quand il s'agit de l'interconnexion de plusieurs stations, les choses se compliquent ; dans ce cas, il faut bobiner le régulateur avec un enroulement série en deux parties inversées ; alors, la tension résultante reste en phase avec la tension appliquée. Quand il s'agit d'interconnexion à longue distance, on recommande d'installer des régulateurs aux deux stations, chaque régulateur fournissant la moitié de l'appoint nécessaire ; autrement, il pourrait arriver que la surtension fournie par le régulateur unique porte la tension résultante à une valeur très au-dessus de la tension de transmission. Les auteurs produisent des diagrammes vectoriels et des schémas typiques de montages. .

EFFETS DES VARIATIONS DU FACTEUR DE PUISSANCE. — Le facteur de puissance sous lequel s'opère la transmission est une considération importante d'où dépend le dimensionnement du feeder de couplage, des transformateurs principaux et des auxiliaires. De plus (et spécialement quand les facteurs de puissance des charges connectées aux stations sont différentes), il peut arriver que la station réceptrice se trouve surchargée de kilovolts-ampères sous puissance, au point d'annihiler l'avantage escompté par l'interconnexion.

Quand les deux stations sont sous le contrôle d'une seule autorité, la répartition de la composante sous puissance sera probablement effectuée sur la base de l'économie maximum, mais si l'une achète à l'autre, le facteur de puissance que l'énergie vendue doit comporter devra être décidé conventionnellement. Le tableau de la page 328 montre l'effet sur le facteur de puissance des stations du facteur de puissance de la transmission, dans le cas suivant : interconnexion de deux stations A et B ; la station A a une charge propre de 20 000 kv-a à $\cos \varphi = 0,9$ (en arrière) ; la station B a une charge de 25 000 kv-a à $\cos \varphi = 0,7$ (en arrière) ; elle peut acheter jusqu'à 10 000 kw à A. Les facteurs de puissance et les rendements de la transmission ont été calculés pour quatre valeurs du facteur de puissance de la transmission à l'extrémité réceptrice de la ligne ; ces valeurs sont :

1° 0,7 en arrière (valeur égale à celle du facteur de puissance de la station réceptrice B) ;

2° 0,62 en arrière (valeur équivalente à 0,9 arrière à la station A, valeur normale du facteur de puissance à cette station) ;

3° $\cos \varphi = 1$;

4° 0,83 en avant.

Les colonnes 1, 2, 3 et 4 sont calculées pour le cas d'un seul régulateur, situé à la station émettrice A ; la colonne 3a montre l'effet produit en plaçant un régulateur de demi-dimensionnement à chaque station.

La transmission au facteur de puissance de la charge propre de la réceptrice n'a, bien entendu, aucun effet sur le facteur de puissance de cette station ; quant à l'émettrice, son facteur de puissance subit l'influence de la charge transmise à un facteur inférieur au sien. La transmission au facteur de puissance propre de l'émettrice n'influence pas ce facteur de puissance, mais la station réceptrice constate une baisse sensible de son facteur. La transmission à facteur en avant, correspondante au cas de tensions égales aux deux bouts de ligne, ne se recommande pas non plus : la charge en kilovolts-ampères des alternateurs de la réceptrice est, en réalité, plus élevée que si cette station ne demandait rien à A ; le seul avantage de ce cas est la suppression des machines auxiliaires. La transmission à $\cos \varphi = 1$ présente quelques avantages considérables : la ligne et les transformateurs peuvent être dimensionnés au minimum, en même temps que se trouvent réduites les pertes de transmission. Cependant le facteur de puissance en B est faible ; si on adopte ce

La station B reçoit 10 000 kw à différents facteurs de puissance mesurés à son entrée par la différence des tensions.

| | 0,7 (arrière) | | 0,92 (arrière) | | 1 | | 1 | | 0,83 (avant) | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|-------------------|---------|--------------|----------|
| | kv-A | cos φ | kv-A | cos φ | kv-A | cos φ | kv-A | cos φ | kv-A | cos φ |
| Station A { Charge propre..... | 20 000 | 0,9 arr | 20 000 | 0,9 arr | 20 000 | 0,9 arr | 20 000 | 0,9 arr | 20 000 | 0,9 arr |
| Transmis à B..... | 16 300 | 0,68 | 11 780 | 0,9 | 10 560 | 0,996 | 10 600 | 0,996 | 12 070 | 0,89 av |
| Charge totale..... | 35 670 | 0,81 | 31 780 | 0,9 | 30 090 | 0,95 | 30 130 | 0,95 | 29 270 | 0,98 arr |
| Station B { Charge propre..... | 25 000 | 0,7 | 25 000 | 0,7 | 25 000 | 0,7 | 25 000 | 0,7 | 25 000 | 0,7 arr |
| Reçu de A..... | 14 280 | 0,7 | 10 800 | 0,92 | 10 000 | 1 | 10 000 | 1 | 12 070 | 0,83 av |
| Résultante..... | 10 720 | 0,7 | 15 660 | 0,48 | 19 360 | 0,39 | 19 360 | 0,39 | 25 740 | 0,29 arr |
| Pertes dans la transmission en fonction des kilowatts fournis..... | 10,6 pour 100 | | 6,1 pour 100 | | 5,2 pour 100 | | 5,5 pour 100 | | 7,6 pour 100 | |
| Dimensionnement des appareils régulateurs..... | 2 320 kv-A (14,2 %) | | 1 065 kv-A (9 %) | | 588 kv-A (5,6 %) | | 610 kv-A (5,74 %) | | néant | |
| Numéros des colonnes..... | 1 | | 2 | | 3 | | 3a | | 4 | |

mode de transmission il faudra prévoir la fourniture de la puissance réactive considérable exigée de B (installation d'un moteur synchrone à vide surexcité, par exemple). La station réceptrice B, supposée avoir un facteur de puissance propre de 0,7 se trouve en face de deux alternatives : ou accepter le secours transmis à $\cos \varphi = 0,7$, ou l'accepter à $\cos \varphi = 1$ et installer un compensateur. L'article examine l'économie de ces deux cas, dans un tableau financier, y faisant figurer les charges des capitaux et les coûts des pertes dans le cuivre et dans le fer. L'avantage ressort à la transmission avec $\cos \varphi = 1$ et installation d'un compensateur, mais les auteurs ne prétendent pas pouvoir généraliser ce résultat.

PUISSANCE SYNCHRONISANTE. — Les auteurs ont rencontré des cas d'interconnexion où la puissance synchronisante de la ligne n'était pas suffisante pour produire un parallélisme satisfaisant des stations au moment de fluctuations de charge. La puissance synchronisante qui circulera entre deux stations pour une variation θ de l'angle β existant entre les tensions aux deux jeux de barres, est égale à

$$3 E_1 E_2 \frac{\lambda}{Z^2} [\sin (\beta + \theta) - \sin \beta].$$

Il est intéressant de noter que, pour une résistance donnée de la ligne, la puissance synchronisante est maximum quand la réactance de la ligne est égale à la résistance de la ligne. La réactance ne devrait jamais être inférieure à la résistance; dans l'interconnexion à une tension supérieure à 6 000 v, la réactance des transformateurs élévateurs et abaisseurs porte généralement la réactance totale de la transmission bien au delà de la résistance. Le calcul de la puissance synchronisante n'est, bien entendu, que la moitié du problème; il faut encore s'assurer qu'elle est suffisante à maintenir un synchronisme satisfaisant. Les auteurs considèrent le phénomène d'oscillation connu produit par une grande variation de champ sur la station réceptrice.

APPENDICES. — Dans un premier appendice, les auteurs produisent une méthode de calcul de dimensionnement de l'équipement auxiliaire de régulation (survolteurs). On part d'une charge donnée à transmettre sous une tension à l'arrière fixée, avec un facteur de puissance qu'il est désirable de

fixer d'avance. On peut d'ailleurs faire une série d'estimations quant au choix du facteur de puissance optimum. On n'a considéré que la transmission en triphasé et on a négligé la capacité électrostatique des câbles; on a supposé que la transmission comportait des transformateurs élévateurs et abaisseurs de même rapport; les formules sont facilement applicables à d'autres conditions.

Le deuxième appendice donne une méthode de calcul de la puissance synchronisante circulant dans la transmission au moment d'une variation de l'angle des deux tensions des deux stations.

Dans le troisième appendice, les auteurs donnent quelques considérations sur les grandes interconnexions réalisées en Amérique et au Canada, comparées à celles de l'Angleterre. En Amérique, surtout dans les régions où abonde l'énergie hydraulique, les réseaux s'étendent sur des surfaces parfois considérables, ce qui procure une grande flexibilité aux interconnexions; en effet, la plupart des usines génératrices n'ayant souvent aucune charge connectée à leurs environs immédiats, se préoccupent peu d'une régulation étroite de la tension à leurs barres, d'où possibilité fréquente de se passer d'appareils auxiliaires. La division de la charge entre les stations se détermine par la quantité d'eau disponible à chacune d'elles; le principal rôle du « load dispatcher » (répartiteur de charge) est d'utiliser l'eau au maximum. Une autre condition favorable à l'interconnexion en Amérique est le facteur de charge relativement élevé des distributions; d'où constance de la charge sur les feeders de couplage et nécessité de peu de régulation des tensions. On cite, pour le facteur de charge annuel pour 1920, de la Pacific Gas and Electric Co, le chiffre 0,65; le Great Western Power Co, accuse, pour la même année : 0,578; la California Oregon Power Co, 0,80.

L'interconnexion de stations possédant des fréquences différentes nécessite l'emploi de convertisseurs de fréquence; ces appareils introduisent (voir *Electrical World*, 1918, t. LXXI, p. 1020) un déphasage pouvant s'élever, dans le cas d'une conversion de 25 à 60 p. s. à 85° électriques à pleine charge; cela correspond, comme effet, à une longue ligne de faible capacité, avec, pour conséquence, une faible puissance synchronisante. Il sera bon, dans le cas de convertisseurs de fréquence, que les variations de la charge transmise soient très faibles.

P. V.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 18 JUILLET 1921.

Durant l'exercice, le nombre des billets délivrés en 1920 a été de 89 651 157 contre 98 062 440 l'année précédente. Cette diminution est imputable à diverses causes dont la première est l'application des nouveaux tarifs mis en vigueur le 1^{er} avril 1920. Le nouveau prix auquel la Ville de Paris a fixé les billets délivrés avant 9 heures du matin et donnant droit à deux voyages, présente de tels avantages pour le public, que l'on a constaté immédiatement une augmentation importante du nombre de ces billets en même temps qu'une diminution de ceux des autres catégories. Signalons aussi, comme cause de diminution, la situation générale des affaires et surtout la remise en service des autobus dont le parcours, se confondant avec le tracé des lignes, constitue pour celles-ci une vive concurrence.

Aucune modification n'a été apportée aux dispositions remises en vigueur depuis le 1^{er} octobre 1919 en ce qui concerne les heures de départ des terminus des premiers trains du matin et des derniers trains du soir, lesquels ont lieu respectivement à 5 h 30 et à minuit 30.

La compagnie a confié aux Etablissements Decauville la construction de quinze voitures remorques et de dix automotrices. A l'heure actuelle, les quinze remorques sont livrées et la plupart d'entre elles sont en service.

Quant aux automotrices, le constructeur devait les livrer en octobre.

L'entretien de la voie a été régulièrement assuré. Il en a été de même des ouvrages souterrains. La compagnie a achevé un certain nombre de travaux complémentaires, tels que le revêtement en ciment des tubes de la traversée de la Seine et aussi la construction d'une galerie d'accès à la station « Saint-Lazare », que l'importance du nombre des voyageurs qui se présentent à cette station aux heures d'affluence, rendait absolument indispensable.

Les pourparlers engagés avec les sociétés qui produisent l'énergie électrique nécessaire à l'exploitation ont enfin abouti dans les derniers mois de l'année. Elle a signé avec ses deux fournisseurs un avenant destiné à mettre les clauses de leur contrat d'origine en harmonie avec les prix actuels de la main-d'œuvre, de l'entretien et du renouvellement du matériel.

L'effectif du personnel de l'exploitation était au 31 décembre 1920 de 1 341 agents (employés ou ouvriers), contre 1 338 au 31 décembre 1919.

Le compte général d'exploitation de l'année 1920 se résume comme suit :

Recettes voyageurs et produits divers, 28 468 354,77 fr.
Dépenses, 28 050 989,21 fr.

Différence, 417 365,56 fr faisant apparaître un coefficient d'exploitation de 98,53 pour 100, contre 75,76 pour 100 en 1919.

Le total des dépenses qui, en 1919, était de 15 816 480,72 fr a atteint, pour l'année 1920, 28 050 989,21 fr. Le supplément de dépenses relatif à l'énergie électrique résultant du prix élevé du charbon représente à lui seul les deux tiers environ de cette augmentation; le surplus est attribuable aux nouveaux avantages concédés au personnel en 1919 ainsi qu'à la hausse des matières et des produits de toute nature employés à la réfection et à l'entretien de nos ouvrages et de notre matériel.

Le compte de profits et pertes comprend :

Le report à nouveau de l'an dernier, 831 455,61 fr.

Un prélèvement opéré sur le règlement des fournitures d'énergie électrique des années 1916 et 1917, période antérieure à la mise en vigueur de l'accord provisoire et comme telle ne devant pas figurer au compte spécial de guerre, 278 950,67 fr.

Puis, sur le compte de gestion de l'année 1920, par application de la convention provisoire :

La réserve légale, 122 496,38 fr.

Le fonds d'amortissement du capital-actions (art. 40 des statuts), 500 000 fr.

Les intérêts à 2,5 pour 100 au capital-actions non amorti (conformément à l'art. 10 de l'accord provisoire), 1 827 431,25 fr, soit un total de 3 560 333,91 fr qui se répartit de la façon suivante :

136 443,91 fr à la réserve légale,

500 000 fr au fonds d'amortissement du capital-actions,

Un intérêt de 4 pour 100 aux 292 389 actions en circulation.

Le dividende de 4 pour 100, soit 10 fr par action, est payé depuis le 1^{er} août 1921, sous déduction des impôts de finance.

Ainsi que le Conseil le faisait pressentir l'année dernière, la compagnie, après de laborieuses négociations, a passé avec la Ville de Paris une convention modifiant et complétant les conditions de sa concession. Désormais, les recettes et les dépenses de toute nature, y compris les charges obligatoires, seront inscrites à un compte général annuel dont la Ville de Paris encaissera les profits ou supportera les pertes.

En échange, la compagnie recevra une rémunération constituée par un prélèvement effectué sur chaque billet délivré; une prime de gestion dont l'importance croîtra tant avec le développement du trafic qu'avec l'amélioration qui résultera pour le coefficient d'exploitation, de la baisse du combustible et des matières, sans toutefois que cette prime soit susceptible d'être diminuée au cas où les tarifs viendraient à être abaissés; une participation de moitié dans les produits de la publicité et des recettes diverses; et, enfin, par l'adjonction à ces trois éléments, du montant

des intérêts des réserves employées provisoirement, soit en travaux de premier établissement, soit en dépenses d'exploitation.

Signalons enfin que, par une disposition spéciale de la convention, la société se trouve désormais dispensée de se procurer par ses propres moyens les capitaux nécessaires à l'établissement de lignes nouvelles.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1921.

Actif.

| | fr |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Caisse et banques..... | 5 768 300,46 |
| Cautionnement..... | 480 000 » |
| Valeurs en portefeuille..... | 902 500 » |
| Terrains et immeubles à réaliser..... | 389 599,37 |
| Approvisionnements..... | 1 024 783,88 |
| Débiteurs divers..... | 539 268,06 |
| Compte spécial de guerre | |
| Insuffisance des sommes affectées à l'entretien des voies et du matériel (art. 12 de l'accord provisoire)..... | 500 000 » |
| Solde déficitaire de l'exercice 1918 (intérêts et amortissement des actions compris)..... | 3 549 221,34 |
| Solde déficitaire de l'exercice 1919..... | 2 038 008,64 |
| Solde déficitaire de l'exercice 1920..... | 7 665 352,97 |
| Comptes de premier établissement : | |
| 1° Infrastructure..... | 106 932 746,70 |
| 2° Superstructure..... | 20 748 591,47 |
| 3° Domaine de la société : bâtiments d'administration..... | 454 034,48 |
| Ateliers : | |
| a) Terrains..... | 1 241 567,17 |
| b) Constructions..... | 1 603 690,77 |
| Matériel roulant..... | 14 644 040,61 |
| Outils, petit matériel, mobilier..... | 775 074,12 |
| | <u>170 246 780,04</u> |

Passif.

| | fr |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Capital-actions : | |
| 292 389 en circulation..... | 75 000 000 » |
| Obligations : | |
| 4 pour 100 1909 : 66 570 en circulation..... | 34 096 800 » |
| 4 pour 100 1913 : 78 465 en circulation..... | 34 099 800 » |
| Réserve légale..... | 574 555,55 |
| Fonds d'amortissement des actions..... | 537 712,28 |
| Créditeurs divers..... | 12 142 086,34 |
| Coupons actions à payer..... | 520 948,95 |
| Coupons obligations à payer..... | 1 268 553,59 |
| Obligations à rembourser..... | 1 397 186,78 |
| Compte provision..... | 3 248 802,64 |
| Insuffisance pour l'entretien et le renouvellement des voies et des ouvrages (art. 12 de l'accord provisoire)..... | 500 000 » |
| Réserve pour renouvellement de voies et matériel roulant (art. 9 de l'accord provisoire)..... | 1 500 000 » |
| Profits et pertes : | |
| Solde créditeur..... | 3 560 333,91 |
| | <u>170 246 780,04</u> |

Omnium Lyonnais.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 24 NOVEMBRE 1921.

Les résultats du dernier exercice sont sensiblement les mêmes que ceux de l'exercice précédent.

Les filiales de la compagnie se trouvent en meilleure situation que l'an dernier, car il semble que la crise extrêmement grave subie depuis la guerre par l'industrie des transports en commun va en s'atténuant.

D'une part, la baisse de certaines matières premières, charbons, rails, etc., a réduit assez sensiblement les dépenses d'exploitation; d'autre part, les relèvements de tarifs et les appuis financiers accordés par les municipalités ont permis à ces entreprises de franchir la période difficile d'après-guerre et leur garantissent encore, actuellement,

pour des périodes de durées variables, les ressources qui leur permettent d'assurer le service public qui leur fut confié. Seul, à Fontainebleau, le département de Seine-et-Marne, persistant à méconnaître la guerre et ses conséquences, a repoussé toutes les propositions de la compagnie et refusé de lui venir en aide.

Mais, même dans les cas où des accords amiables provisoires ont été conclus, les filiales ont poursuivi les instances engagées devant les juridictions administratives, afin de faire fixer définitivement l'importance des justes réparations qui leur sont dues en compensation des charges extra-contractuelles subies du fait de la guerre.

Cependant, bien que la situation actuelle des entreprises de transport en commun se présente sous un aspect moins défavorable que l'an dernier, la question de renouvellement du matériel et des voies qui fut différé depuis le début de la guerre n'en reste pas moins grave. La compagnie espère que les pouvoirs publics ne se désintéresseront pas d'une question qui se pose pour toute cette industrie et que, grâce à leur concours, la baisse des matières aidant, les programmes de travaux indispensables pourront être repris dans des conditions auxquelles les Compagnies de Tramways pourront faire face.

Compagnie des Tramways électriques d'Avignon. — Le compte de profits et pertes a fait ressortir, pour l'exercice 1920, un solde créditeur total de 43 796,28 fr permettant la mise en distribution d'un dividende de 7,50 fr par action, égal à celui de l'an dernier.

Compagnie des Chemins de fer à voie étroite de Saint-Etienne, Firminy, Rive-de-Gier et Extensions. — Le compte de profits et pertes donne un solde créditeur de 347 048,92 fr qui a permis la distribution d'un dividende de 6 pour 100.

Grâce à l'activité industrielle qui s'est maintenue dans la région de Saint-Etienne pendant l'année 1920, les recettes de cette société ont été encore en augmentant. Elle a pu ainsi, malgré l'accroissement des dépenses d'exploitation, consacrer des sommes importantes à la remise en état et à l'augmentation de son matériel roulant et continuer la réfection des voies dont l'entretien, faute de matières et de main-d'œuvre, avait dû être retardé pendant la guerre.

Société des Chemins de fer sur routes d'Algérie. — L'accord entre la société et le département d'Alger ayant pu s'établir sur les bases indiquées l'année dernière, et le département d'Alger ayant fourni les avances de trésorerie prévues, la Société des Chemins de fer sur routes d'Algérie s'est trouvée en mesure de rembourser, en août dernier, les divers découverts qui lui avaient été consentis et de mettre en distribution, le 1^{er} septembre, le dividende de 5 pour 100 relatif à l'exercice 1919 qui avait été voté par l'assemblée générale du 9 août 1920.

Grâce au jeu du compte spécial établi en conformité des accords intervenus avec le département, le Conseil d'Administration de cette société a pu proposer à l'assemblée générale convoquée pour le 10 décembre dernier la fixation, pour l'exercice 1920, d'un dividende de 5 pour 100 égal à celui des années précédentes.

Compagnie genevoise des Tramways électriques. — Le total des recettes d'exploitation du dernier exercice s'est élevé à 6 938 019,30 fr et le total des dépenses d'exploitation à 6 599 083,50 fr, laissant un excédent de 338 935,80 fr en diminution de 134 836,35 fr sur l'exercice 1920.

En raison de la situation de trésorerie difficile, aucun dividende n'a été mis en distribution cette année et le solde du compte profits et pertes, s'élevant à 430 263,95 fr, a été reporté.

Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris. — Voir plus haut, p. 229.

Société franco-italienne du Chemin de fer Métropolitain de Naples. — Le décret approuvant la résiliation de la concession, dont la société poursuit l'obtention depuis plusieurs années, n'a pas encore paru. Mais les assurances données à ce sujet par le gouvernement italien peuvent permettre de considérer cette annulation et le remboursement du cautionnement en découlant comme un fait certain. Aussi, cette société, qui, en vertu d'un décret rendu le 9 septembre 1920, a encaissé 300 000 livres à valoir sur le remboursement de son cautionnement, le solde devant lui être versé au fur et à mesure de l'extinction des litiges en cours avec les tiers, peut-elle se considérer actuellement comme dégagée de l'obligation de poursuivre son objectif social que la guerre a rendu irréalisable.

C'est pourquoi les actionnaires de la Société franco-italienne du Chemin de fer Métropolitain de Naples, réunis en assemblée générale extraordinaire le 30 juin dernier ont, en raison de cette situation, décidé d'amortir les pertes subies à ce jour par la société en ramenant le capital de 16 millions à 12 800 000 fr par réduction de la valeur nominale des actions de 250 à 200 fr.

Société minière française au Maroc. — Après un an de recherches dans les territoires actuellement pacifiés et au cours desquelles rien de particulièrement saillant ne fut découvert, cette société a en l'heureuse fortune de trouver, en territoire encore inconnu, des indices d'étain.

L'effort de ses ingénieurs s'est immédiatement porté sur cette région; les premiers travaux effectués pour déceler l'étendue du gisement et sa richesse peuvent être, dès à présent, considérés comme des plus encourageants. Les recherches qui se poursuivent activement apportent, en effet, chaque jour la confirmation de l'importance de la découverte.

Société des Mines de Boudjoudoun. — Ce n'est que le 4 novembre dernier que cette société a obtenu sa concession qui lui a été délivrée dans les conditions de la nouvelle loi sur les mines. Elle peut donc, dès maintenant, commencer les travaux d'aménagement de la mine pour l'exploitation: les constructions de route, maisons, câbles aériens, ainsi que les importantes installations de préparation mécanique pour le traitement des minerais.

L'importance et la richesse du gisement de cuivre, d'une teneur élevée en argent, semblent promettre un avenir des plus prospères à la Société.

Société électrique de la Sidérurgie lorraine. — Cette société a poursuivi l'obtention des concessions destinées à lui permettre de réaliser l'ensemble des travaux projetés, mais la durée des formalités administratives à accomplir ne lui a pas encore permis de les obtenir.

L'Omnium lyonnais, en exécution de son contrat de direction technique, poursuit les études de la réalisation du plan d'ensemble et apporte son concours dans l'accomplissement des formalités de la demande des concessions nécessaires.

On espère que ces concessions seront obtenues sous peu et que la Société électrique de la Sidérurgie lorraine pourra, dans un avenir prochain, entrer dans la phase véritablement active de la réalisation d'un programme extrêmement important.

Société anonyme des Entreprises Monq-Guillain. — L'Omnium lyonnais a pris une participation dans l'augmentation de capital de la Société anonyme des Entreprises Monod et Guillain, société dont l'objet social est de poursuivre l'étude et la réalisation de tous travaux publics et privés.

Il sera chargé plus spécialement de l'étude et des travaux

d'ordre électrique et mécanique faisant partie des entreprises qui seront retenues par cette société.

Les bénéfices nets de l'exercice, déduction faite des frais généraux, s'élèvent à 1 284 799,06 fr auxquels s'ajoutent le report de l'exercice précédent, 47 724,42 fr.

Cette somme est répartie comme suit :

5 pour 100 à la réserve légale.

Un dividende de 6 pour 100.

15 pour 100 au Conseil d'Administration sur le reste.

Un dividende supplémentaire 4 pour 100.

133 333,34 fr aux parts de fondateur.

Le report à nouveau est de 41 866,33 fr.

Le dividende de 10 fr est payé, sous déduction des impôts de finances, à partir du 1^{er} décembre 1921.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

| | fr |
|----------------------------------------------------------|---------------------|
| Actif. | |
| Immeuble..... | 700 000 » |
| Terrains..... | 866 681,85 |
| Caisse et disponibilités en banques..... | 1 052 926,94 |
| Fonds d'Etat français (bons, obligations et rentes)..... | 5 926 839,50 |
| Coupons à encaisser..... | 134 270 » |
| Débiteurs : | |
| Divers..... | 1 420 466,75 |
| Avances aux filiales..... | 714 180,63 |
| Titre des filiales..... | 3 844 096 » |
| Portefeuille, titres divers : | |
| Actions..... | 7 901 567,11 |
| Obligations..... | 381 688,10 |
| Etudes..... | 1 » |
| Usine d'Arudy..... | 1 » |
| Frais de premier établissement..... | 1 » |
| Mobilier..... | 1 » |
| | <hr/> 22 942 720,88 |
| Passif. | |
| Capital..... | 10 000 000 » |
| Réserve légale..... | 695 004,91 |
| Fonds de prévoyance..... | 5 000 000 » |
| Titres à libérer..... | 4 626 500 » |
| Créanciers divers..... | 1 235 690,63 |
| Coupons Omnium lyonnais..... | 53 001,86 |
| Report de l'exercice précédent..... | 47 724,42 |
| Bénéfice de l'exercice 1920-1921..... | 1 284 799,06 |
| | <hr/> 23 942 720,88 |

Est-Lumière (Compagnie d'Électricité de l'Est-Parisien).

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 27 DÉCEMBRE 1921.

Les prix des charbons ont continué à être assez élevés pendant la durée de l'exercice ; mais, contrairement à ce qui s'était passé pendant l'exercice précédent, l'usine a pu être alimentée avec les qualités de charbon qui sont indispensables à la bonne marche des chaudières. Aussi la marche de l'usine s'est-elle sensiblement améliorée ; la puissance fournie par elle a été supérieure à celle de l'exercice précédent, et la clientèle a été desservie sans aucune restriction tant avec l'usine de la compagnie qu'avec les anciens fournisseurs de courant. L'Union d'Électricité poursuit avec la plus grande activité la construction de son usine de Gennevilliers, et la mise en marche du premier groupe n'est plus qu'une question de jours.

La question qui a dominé cet exercice, et qui a été l'objet principal des préoccupations du Conseil est celle des pourparlers avec les communes.

Ces pourparlers ont abouti, pour tous les secteurs, à un

avenant doit les bases générales ont été arrêtées au mois de juillet dernier.

Cet avenant n'a pas un caractère définitif; ce n'est encore qu'un avenant provisoire, instituant un compte d'attente.

Il maintient, tant que les prix de charbon ne seront pas supérieurs à 220 fr, les prix de 0,90 fr le kilowatt-heure pour l'éclairage et de 0,80 fr pour tous autres usages. Toutefois, sur préavis d'un mois, ce prix pourra, pour l'éclairage, être abaissé au taux pratiqué par la Ville de Paris et pour les autres usages, au taux de la Ville de Paris, majoré de 0,05 fr pour l'Est-Lumière spécialement.

Les majorations respectives résultant de ces tarifs sont portées au crédit du compte d'attente.

D'autre part, cet avenant accorde aux sociétés, pour être porté au débit du compte d'attente, des indemnités correspondantes aux surcharges des dépenses qui résultent pour chaque société de l'application des accords survenus entre les secteurs et leur personnel, et du supplément du coût des redevances communales, de l'éclairage public et communal; il prévoit également l'inscription au compte d'attente de la superdépense du coût des travaux d'extension de réseau faits depuis le 1^{er} janvier 1920 ou à faire dans l'avenir, comparé aux prix de 1914.

Cet avenant est conclu pour une période courte prenant fin le 31 décembre 1922; toutefois, sauf dénonciation par l'une des parties, trois mois avant son expiration, il pourra être continué par tacite reconduction, pendant deux périodes semestrielles, soit au maximum, jusqu'au 31 décembre 1923. A cette date doit intervenir un avenant définitif et il est bien spécifié, dans cet avenant 1921, que l'avenant définitif comportera les modalités de liquidation du compte d'attente qui vient d'être instauré.

En même temps qu'elle participait avec tous les autres secteurs de la banlieue de Paris à ces négociations d'ensemble, la compagnie s'est rapprochée spécialement des communes dont elle est concessionnaire pour obtenir d'elles la liquidation des litiges antérieurs, elle a abouti à un complet accord.

Dans l'établissement du bilan, il a été incorporé au crédit du compte de profits et pertes de l'exercice, la somme de 19 604 506,97 fr constituant les créances sur les communes, en vertu du compte spécial créé par l'avenant de 1918, pour la période écoulée du 1^{er} avril 1915 au 30 juin 1921.

Par contre, il a été porté au débit du compte de profits et pertes le solde débiteur des exercices 1916-1917, 1917-1918, 1919-1920, que la première résolution votée à la dernière assemblée générale, avait décidé de laisser provisoirement à l'actif jusqu'à l'apurement des comptes avec les communes.

D'autre part, depuis l'exercice 1914-1915, la compagnie avait été forcée de suspendre les amortissements, il a paru indispensable de reprendre la pratique de ces amortissements et de procéder, en même temps, à certaines dépréciations qui s'imposaient sur quelques postes de l'actif.

Le Conseil n'a pas encore réalisé l'augmentation de capital votée dans l'assemblée générale extraordinaire du 18 mars 1921. Étant donné le vote de l'avenant de 1921 et les améliorations qu'il comporte pour la société, les actionnaires sont convoqués en assemblée générale extraordinaire pour leur permettre de délibérer à nouveau sur les conditions de cette augmentation éventuelle de capital.

Les recettes d'exploitation se sont élevées à 31 493 373,42 fr en augmentation de 7 403 859,03 fr et les dépenses à 32 695 966,67 fr en augmentation de 3 246 296,18 fr, laissant une perte de 1 202 593,25 fr.

Le compte de profits et pertes s'établit ainsi : au crédit, le montant des créances sur les communes en conformité de l'avenant de 1918, 19 604 506,97 fr.

Au débit :

La perte d'exploitation de l'exercice indiquée ci-dessus, 1 202 593,25 fr.

L'amortissement de 1 125 obligations, 562 500 fr.

Les intérêts sur obligations et bons, 1 008 205 fr.

La prime d'amortissement des obligations amorties, 24 930 fr.

Les intérêts, agios et dépréciations sur titres, 1 014 821,25 fr.

L'amortissement des réseaux et feeders, 500 000 fr.

Les amortissements et dépréciations ajournés pour les exercices 1914-1915 à 1919-1920, 4 966 673,10 fr, soit un total de 9 279 722,60 fr.

Il reste 10 324 784,37 fr, présentant avec le solde débiteur du compte de profits et pertes des exercices antérieurs, 9 578 026,17 fr.

Le solde net en bénéfice de 746 758,20 fr est reporté à nouveau.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

| <i>Actif.</i> | | fr |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------|----|
| Terrain et immeubles Alfortville..... | 420 133,87 | |
| Réseaux..... | 14 545 031,37 | |
| Feeders..... | 8 912 200,22 | |
| Frais de constitution..... | 1 » | |
| Frais de premier établissement..... | 1 » | |
| Marchandises générales..... | 2 800 101,52 | |
| Cautionnements aux communes..... | 79 430,40 | |
| Caisse, banques et rentes..... | 1 272 114,89 | |
| Débiteurs divers..... | 303 051,45 | |
| Abonnés..... | 3 021 517,50 | |
| Titres en portefeuille..... | 5 383 510 » | |
| Parts de fondateurs..... | 1 » | |
| Frais d'émission des effets à 5 ans..... | 348 903,93 | |
| A déduire : amortissement de l'exercice..... | 87 226 » | |
| Primes de remboursement..... | 261 677,93 | |
| Droits de transmission sur actions..... | 309 830 » | |
| Créances sur les communes (compte spécial avenant 1918)..... | 258 533,71 | |
| | 19 604 506,97 | |
| | <u>57 233 650,83</u> | |
| <i>Passif.</i> | | fr |
| Capital-actions..... | 10 000 000 » | |
| Réserve légale..... | 903 351,68 | |
| Réserve spéciale..... | 746 582,07 | |
| Solde du compte ancien d'amortissement..... | 4 228 143,52 | |
| Amortissements ajournés pendant les exercices 1914-1915 à 1919-1920..... | 3 000 000 » | |
| Montant des obligations amorties dans l'exercice..... | 562 500 » | |
| Amortissement de l'exercice..... | 500 000 » | |
| Participations diverses..... | 1 155 816,65 | |
| Obligations 4,5 pour 100..... | 4 823 000 » | |
| Obligations 5 pour 100..... | 3 434 000 » | |
| Effets 6 pour 100 à échéance de juillet 1924..... | 10 000 000 » | |
| Cautionnements des abonnés..... | 1 502 259,60 | |
| Effets à payer..... | 505 566,60 | |
| Créditeurs divers..... | 8 581 734,35 | |
| Actions : coupons échus restant à payer..... | 9 979,94 | |
| Obligations : Id..... | 159 762,49 | |
| Effets à 6 pour 100 : Id..... | 304 350 » | |
| Obligations sorties restant à rembourser..... | 416 535,50 | |
| Dettes envers les communes (comptes d'attente avenant 1920) : | | |
| Exercice 1919-1920..... | 199 397,81 | |
| Exercice 1920-1921..... | 5 153 912,42 | |
| Profits et pertes : | | |
| Solde créditeur..... | 746 758,20 | |
| | <u>57 233 650,83</u> | |

SECTION DE LÉGISLATION

La concurrence déloyale

L'auteur définit et analyse le domaine de la concurrence déloyale, ses aspects variés, comment s'en défendre, à quels tribunaux s'adresser, etc. Il retrace un état complet des agissements réprouvés par la jurisprudence.

I. Définition. Etendue. — Quiconque s'estime lésé par des agissements déloyaux peut actionner en responsabilité, en vertu des articles 1382 et suivants du Code civil, celui qui lui cause un préjudice, ce préjudice fût-il seulement d'ordre moral.

Généralement c'est un commerçant, qui se plaint d'une concurrence déloyale ; mais il peut advenir aussi que le titulaire d'une profession libérale ait à se plaindre de dénigrement ou d'agissements déloyaux, par exemple : un architecte, un notaire, un ingénieur, un médecin, un dessinateur, etc., ou encore un syndicat. Les tribunaux sont de plus en plus enclins à admettre l'intervention des syndicats et à estimer qu'il y a préjudice matériel ou moral collectif, par exemple, à l'occasion de poursuites pour fraudes agricoles ou viticoles (la question est définitivement fixée depuis le vote des lois du 6 mai 1919 et du 12 mai 1920). Les étrangers ayant un établissement en France, qu'ils aient ou non déposé leurs marques en France, peuvent exercer l'action en concurrence déloyale à l'occasion de faits commis en France à leur préjudice (art. 631 Code de Commerce). Au surplus, pour les pays faisant partie de la Convention d'Union industrielle, les ressortissants jouissent, dans tous les états signataires, de la protection accordée aux nationaux contre la concurrence déloyale.

II. Juridiction compétente. — Le tribunal de commerce est presque toujours compétent, puisqu'il s'agit en somme, la plupart du temps, d'une action en responsabilité entre commerçants à l'occasion de faits de commerce. D'autre part, l'article 631 du Code de Commerce défère expressément aux tribunaux de commerce toutes contestations relatives aux engagements entre commerçants, sans distinguer les obligations conventionnelles de celles qui se forment sans convention ; or, la concurrence déloyale constitue un quasi-délit, qui ne peut échapper à la répression consulaire puisqu'elle intervient entre commerçants à l'occasion de leur commerce.

Mais, si les faits sont intervenus entre non-commerçants, ou si même l'une des deux parties n'est pas commerçante, c'est alors le tribunal civil qui est seul compétent pour en connaître. D'ailleurs, l'action en concurrence

déloyale entre commerçants, portée devant la juridiction civile, serait recevable, en l'absence de toute exception d'incompétence soulevée par la partie défenderesse, les tribunaux consulaires étant des juridictions d'exception et les tribunaux civils ayant plénitude de juridiction ; c'est par application de ce principe, que, dans les villes de province, où il n'existe pas de tribunal de commerce, c'est le tribunal civil, qui juge les affaires commerciales.

L'action en concurrence déloyale peut-être connexe à des faits de contrefaçon de brevets ou de marques ; la juridiction civile est alors compétente pour juger l'ensemble des faits ; si elle rejette l'action en contrefaçon ou en validité de brevet ou de marque, elle doit renvoyer, pour les faits de concurrence déloyale, devant la juridiction commerciale, si elle est toutefois sollicitée de le faire par d'expresses conclusions ; en l'absence de conclusions, elle reste compétente, son incompétence n'ayant qu'un caractère relatif. D'autre part, le tribunal de commerce peut être compétent, même pour apprécier une imitation de marque de fabrique déposée, si cette imitation ne constitue qu'un des éléments d'une concurrence déloyale, caractérisée par un ensemble de faits.

III. Preuve. — La preuve de la concurrence déloyale, qui incombe au demandeur, peut s'établir par tous moyens de droits communs, livres, publicité, correspondance, etc. On peut aussi confirmer la valeur de ces éléments par la production d'un procès-verbal de constat par huissier dressé à la requête directe du poursuivant, ou en vertu d'une ordonnance délivrée par le président du tribunal civil, ce qui est plus efficace, l'huissier agissant alors comme mandataire de justice et son constat ayant force de preuve jusqu'à inscription de faux.

L'action en concurrence déloyale n'est soumise à aucune forme spéciale. Si elle est d'ordre commercial, il suffit de faire assigner par huissier, sans avoir à tenir compte de délais. Le demandeur peut se présenter lui-même ou par mandataire. Le jugement rendu par le tribunal de commerce est susceptible d'appel, si le montant de la demande dépasse 1 500 fr au principal ; s'il s'agit d'une action devant le tribunal

civil, le ministère de l'avoué est nécessaire, comme dans toutes les actions devant la juridiction civile.

IV. Sanctions. — De toute façon, l'action étant d'ordre civil, qu'elle soit portée devant le tribunal civil ou le tribunal de commerce, n'est sanctionnée par aucune pénalité; elle ne comporte que des réparations civiles.

L'inexécution du jugement ou la continuation du préjudice peut donner lieu à une nouvelle action; de même que la continuation ou l'aggravation du préjudice après le jugement peut légitimer la demande en appel et l'octroi de dommages intérêts plus élevés. La solidarité ne peut être prononcée qu'au cas de complicité bien établie, par exemple, à l'égard de l'imprimeur, qui édite des étiquettes ou prospectus litigieux, ou à l'égard de celui qui aurait aidé de ses deniers, et en général de ses efforts, l'accomplissement des actes déloyaux.

Le tribunal civil comme le tribunal de commerce peut, comme en matière de contrefaçon, ordonner la confiscation au profit du commerçant (par exemple: la remise des étiquettes, enveloppes, boîtes, flacons), à titre de supplément de dommages-intérêts.

Ces tribunaux peuvent aussi ordonner d'apporter tels changements, indispensables pour faire cesser la confusion, ou même la suppression des objets (étiquettes, récipients) ou même encore ordonner la fermeture de l'établissement concurrent (rétablissement similaire).

Il faut toujours réclamer l'affichage dans la presse des condamnations pour dénigrement commercial, car il constitue un mode courant et efficace de réparations auprès des fournisseurs ou de la clientèle.

L'action en concurrence déloyale, qui est de droit commun, se prescrit par trente ans.

APPLICATIONS PRATIQUES. — Chaque fois qu'un commerçant, industriel ou artisan, quel qu'il soit, fait usage, dans le but de nuire à un concurrent, de procédés déloyaux, il cause à ce dernier un préjudice matériel ou moral, qui permet au concurrent lésé d'en réclamer réparation, en vertu des articles 1382 et 1383 du Code civil.

Il faut donc faire encore rentrer dans la catégorie des actes de concurrence déloyale la violation des divers engagements entre commerçants comme: le fait, après s'être engagé à ne vendre qu'un produit déterminé à titre de dépositaire exclusif, de vendre un produit concurrent; le fait de fabriquer ou de faire fabriquer, pour vendre à meilleur compte, les mêmes produits que ceux que l'on vend comme agent exclusif, ou bien de vendre lesdits produits au-dessous du prix minimum fixé; le fait d'annoncer la vente au rabais d'un produit déterminé de façon à déprécier le produit, et à restreindre la vente normale du fabricant et des autres dépositaires; le fait de solliciter les clients de son ancien patron, en leur proposant des prix inférieurs pour un travail garanti équivalent, sinon supérieur; le

fait pour un commissionnaire, après avoir quitté une maison, de conserver la liste des clients de cette maison pour se procurer auprès d'une maison rivale une situation avantageuse; le fait pour un employé d'entraîner avec lui la plupart de ses co-employés pour fonder une maison rivale et s'emparer de la clientèle; le fait pour un commerçant, après s'être engagé avec ses confrères à ne vendre certaines denrées qu'à un prix minimum ou à fermer à telles heures et pendant tels jours, d'enfreindre délibérément ses engagements pris de bonne foi; le fait d'installer une maison concurrente ou un dépôt à proximité d'une maison rivale, dans le but d'amener une confusion; le fait pour un propriétaire de louer dans la même maison à un concurrent d'un locataire déjà installé, alors surtout qu'il s'était engagé à ne pas louer pour un commerce similaire; le fait pour un successeur de mentionner seulement le nom du propriétaire antérieur sans indiquer sa qualité de successeur, et alors que ce dernier se rétablit ailleurs, conformément aux conventions; le fait par le vendeur de fonder une autre maison en la désignant « nouvelle maison une telle »; le fait de la part d'un acquéreur d'un fonds de commerce de se servir du nom de son prédécesseur pour faire un commerce différent mais similaire à un commerçant portant le même nom, etc... Ce sera aux tribunaux d'apprécier l'intention frauduleuse de confusion et d'estimer s'il y a préjudice pour chaque espèce spéciale.

Par application des principes de l'article 1780 du Code civil, toute convention ayant pour but d'aliéner d'une façon générale et absolue sa liberté commerciale est nulle; par conséquent est sans valeur l'interdiction de se rétablir pour un commerce similaire, si cette interdiction n'est pas limitée à un périmètre déterminé et raisonnable, et bornée dans sa durée. Par contre est parfaitement valable et d'usage constant, l'engagement pris par un prédécesseur, ancien associé, ou ancien employé, de ne pas se rétablir pour un commerce similaire dans une région déterminée et pendant une période déterminée, la violation d'un tel engagement constituant une manœuvre de concurrence déloyale que les tribunaux doivent sanctionner par une condamnation à des dommages-intérêts et la fermeture de la maison ainsi frauduleusement fondée. En l'absence même de tout engagement de non-rétablissement, le cédant d'un fonds de commerce doit d'ailleurs s'abstenir de tous agissements pouvant entraver l'exploitation de son concessionnaire (art. 1624 du Code civil); c'est ainsi qu'il ne peut se rétablir à proximité de la maison cédée avec la même enseigne, ou une similaire, ou en employant tout autre procédé ayant manifestement pour but de reprendre d'une main ce qu'il a dû donner de l'autre, et de concurrencer de mauvaise foi son successeur. Le mieux pour éviter des difficultés de preuve et d'interprétation est d'insérer une clause expresse et précise dans l'acte de vente du fonds de commerce.

De même l'ancien associé est réputé avoir vendu sa part du fonds et est, par conséquent, tenu des obliga-

tions du vendeur d'un fonds de commerce (art. 1625 et suivants du Code civil). L'ancien employé n'est pas astreint aux obligations du fonds de commerce, il dispose d'une liberté plus large ; à défaut de stipulations formelles, il est libre de s'établir lui-même pour exercer le même commerce que son ancien patron, mais à la condition d'éviter tout agissement déloyal, il doit prendre les mesures nécessaires pour empêcher toute confusion entre les deux maisons et ne pas chercher à tirer un parti abusif de sa qualité d'ancien employé. Il arrive assez fréquemment en pratique que le patron prend soin, en se séparant de son employé, de lui interdire de se rétablir pour un commerce similaire, à peine de paiement d'une indemnité déterminée ; cette convention est parfaitement licite, et l'employé est libre s'il le juge avantageux, de s'établir quand même, mais à la condition toutefois de payer la clause pénale, qu'à défaut d'exécution volontaire les tribunaux l'obligeraient à payer.

Il va de soi que les procédés indirects (prête-nom, associé, sous-locataire) employés pour violer les enga-

gements de non-rétablissement entraînent la même responsabilité, s'ils sont établis, que les violations les plus directes et les plus imprudentes.

Le vendeur d'un fonds de commerce, qui conserve l'exploitation d'un second fonds, ne peut chercher à garder ou à reprendre la clientèle du fonds cédé, il doit se limiter à l'exploitation loyale et exclusive du second fonds et dans le périmètre de ce dernier. Le défaut de paiement ne peut, en aucun cas, servir d'excuse au vendeur du fonds, pour se soustraire à l'engagement qu'il a pris de ne point se rétablir. La vente judiciaire forcée laisse au failli la possibilité de reprendre un fonds de commerce semblable pour chercher à rembourser ses créanciers sans toutefois lui permettre un rétablissement trop rapproché de son ancienne maison, ni une reprise de clientèle, qui constitueraient, à l'égard de l'acheteur du fonds licité, un trouble certain des agissements déloyaux.

FERNAND-JACO,
Docteur en Droit,
Avocat à la Cour de Paris.

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur l'interprétation des mots « interruption non justifiée » dans les contrats de concession.

L'article 30 du cahier des charges-type des concessions communales contient un paragraphe ainsi conçu :

« En cas d'interruption générale *non justifiée* du courant, une amende de . . . par heure d'interruption pourra être infligée au concessionnaire ».

La question s'est posée de savoir sur quelles bases le Service du Contrôle, qui est appelé à donner son avis à ce sujet, peut s'établir pour décider si l'interruption était justifiée ou non.

Au point de vue administratif, on doit considérer comme injustifiée toute interruption de courant autres que celles autorisées par l'article 20 du cahier des charges intitulé : « Conditions particulières du service » et ne résultant pas d'un cas de force majeure.

Avant de donner son avis à ce sujet, le Service du Contrôle doit donc se borner à constater, d'une part, si l'interruption de courant a été faite en conformité de l'article 20 ou si elle est due à un cas de force majeure.

S'il y a désaccord sur ce dernier point, c'est aux tribunaux compétents qu'il appartient de statuer.

J. R.

Sur l'assujettissement au droit de timbre des accusés de réception des chèques.

Le « Journal officiel » du 7 février 1922 publie, page 282 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse qui suivent :

11729. — M. Bouteille, député, expose à M. le ministre des Finances que les commerçants et industriels sont souvent embarrassés sur le point de savoir si l'accusé de réception d'un chèque est soumis au droit de timbre et dans quelle mesure, et demande : 1° si la prétention de certains agents

de l'administration d'exiger, en tous les cas, un timbre-quitance comme pour un reçu d'espèces, n'est pas en opposition absolue avec les déclarations faites au cours du débat sur la loi du 25 juin 1920, notamment, avec une réponse du commissaire du Gouvernement, dans la deuxième séance de la Chambre du 20 avril 1920 (*Journal officiel*, p. 1153), réponse dans laquelle le commissaire du Gouvernement donnait son adhésion à l'exemption de timbre des accusés de réception de chèques, lorsque cet accusé stipule simplement que le montant en sera porté au crédit de l'envoyeur ; 2° si, en conséquence, on ne doit pas considérer comme exempt du droit de timbre la lettre accusant réception en ces termes : « J'ai reçu votre chèque de . . . fr dont le montant sera porté au crédit de votre compte après encaissement. » (Question du 19 janvier 1922.)

Réponse. — 1° En principe, le droit de timbre de quit-tance est exigible sur les titres, de quelque nature qu'ils soient, signés ou non signés, qui emportent libération, reçu ou décharge (loi du 23 août 1871, art. 18, loi du 25 juin 1920, art. 55). Pour que ce droit soit dû, il suffit donc que l'écrit considéré établisse, à l'encontre du créancier, la libération du débiteur. Exception a été toutefois apportée à ce principe par l'article 4 de la loi du 30 mars 1872 qui exempté de l'impôt « les reconnaissances et reçus donnés, soit par lettres, soit autrement, pour constater la remise d'effets de commerce à négociier, à accepter ou à encaisser ». Mais cette exception ne saurait s'appliquer aux accusés de réception qui, le plus souvent, sous les apparences d'un reçu de chèque à négociier, à accepter ou à encaisser, dissimulent en réalité la remise d'un chèque en paiement d'une dette. Tel est le cas lorsque le destinataire reçoit le chèque en qualité de créancier ; dans cette hypothèse, l'accusé de réception ne bénéficie plus de l'exemption d'impôt et se trouve assujéti au droit de timbre au tarif gradué établi par l'article 55 de la loi du 25 juin 1920, d'après le montant dû ou des chèques auxquels il s'applique. C'est cette distinction que le commissaire du Gouvernement a eu en vue au cours de la discussion, à la Chambre des Députés, du projet de loi qui est devenu la loi du 25 juin 1920 (2^e séance du 20 avril 1920 (*Journal officiel* du 21 avril, page 1153). — 2° La question

de l'exigibilité ou de la non-exigibilité du droit de timbre au tarif gradué, sur un accusé de réception libellé comme l'indique l'honorable député doit être résolue d'après les indications et la distinction qui précèdent. (Voir réponses aux questions écrites ci-après : question n° 4256 posée le 26 août 1915 par M. Puech, député, réponse au *Journal officiel* du 11 septembre 1915, p. 6473, colonne 2; question n° 11391 posée le 12 décembre 1921 par M. Grinda, député, réponse au *Journal officiel* du 25 décembre 1921, débats, Chambre, p. 5276; question n° 11393 posée le 12 décembre 1921 par M. Rognon, député, réponse au *Journal officiel* du 25 décembre 1921, débats, Chambre, p. 5276; question n° 11550 posée le 23 décembre 1921 par M. Grinda, député, réponse au *Journal officiel* du 13 janvier 1922, débats, Chambre, p. 26; question n° 11758, du 19 janvier 1922, de M. Jean Molinié, député, réponse au *Journal officiel* du 7 février 1922, débats, Chambre, p. 283.)

Sur l'assujettissement au droit de timbre des accusés de réception des chèques.

Le « *Journal officiel* » du 7 février 1922, publie, p. 283 des « *Débats parlementaires, Chambre* », la question et la réponse qui suivent :

11758. — M. Jean Molinié (Aveyron), député, demande à M. le ministre des Finances : 1° si les commerçants doivent timbrer les accusés de réception lorsqu'il s'agit : a) d'une somme reçue en espèces (montant du timbre); b) d'une somme reçue en chèque; 2° si l'on peut se dispenser de mettre un timbre en utilisant la formule ci-après : « Je possède votre honorée du... et suis d'accord sur son contenu. » (Question du 19 janvier 1922.)

Réponse. — 1° Le paiement en chèques est assimilable au paiement en espèces et l'accusé de réception donné par le créancier constitue pour le débiteur un titre de libération. Cet accusé de réception équivaut à un reçu de somme et se trouve assujéti comme ce dernier, au droit de timbre de quittance au tarif gradué établi par l'article 55 de la loi du 25 juin 1920 (0,25 fr quand la somme reçue en espèces ou chèque dépasse 10 fr sans excéder 100 fr; 0,50 fr quand elle est comprise entre 100 fr et 1 000 fr et 1 fr quand elle excède 1 000 fr (voir réponse à la question écrite n° 11550, posée le 23 décembre 1921, par M. Grinda, député, *Journal officiel*, du 13 janvier 1922, débats, Chambre, p. 26; 2° réponse négative. Le droit de timbre est dû. (Voir réponse à la question écrite n° 11393, posée le 12 décembre 1921, par M. Rognon, député, *Journal officiel* du 25 décembre 1921, Chambre, p. 5276; réponse à la question écrite n° 11729, du 19 janvier 1922, de M. Bouteille, député, *Journal officiel*, du 7 février 1922, débats, Chambre, p. 282.)

Sur le recouvrement de l'impôt sur les salaires par les patrons.

Le « *Journal officiel* » du 15 février 1922 publie, p. 397, des « *Débats parlementaires, Chambre* », la question et la réponse suivante :

11727. — M. Barthe, député, signale à M. le ministre des Finances qu'à l'occasion de la paye des ouvriers mineurs du bassin Ouest de Graissessac, il a été retenu 35 fr comme partie de l'impôt sur les salaires, que cette somme a été retenue à des pères de quatre et cinq enfants et demande s'il est admissible que le patron devienne collecteur d'impôts et dans quelles conditions et dans quelles mines cette pratique est adoptée. (Question du 19 janvier 1922.)

Réponse. — Le patron n'est pas et ne peut pas être, aux termes de la législation actuelle, considéré comme un collecteur d'impôts, mais le Trésor ne peut, en matière de recou-

vrement, se dispenser d'user du droit que possède tout créancier, de saisir entre les mains des tiers, les sommes dues par ceux-ci à ses débiteurs lorsque ces derniers refusent de s'acquitter spontanément. Les retenues opérées dans ces conditions sont d'ailleurs soumises, tout comme celles qui pourraient être opérées par des particuliers, aux limites édictées par la loi du 27 juillet 1921. Il y a lieu d'ajouter que des instructions ont été données aux percepteurs pour les inviter à user de ménagements en faveur des cas vraiment intéressants.

Sur l'application de la contribution sur les bénéfices de guerre.

Le « *Journal officiel* » du 11 février 1922, publie, p. 371, des « *Débats parlementaires, Chambre* », la question et la réponse suivantes :

11446. — M. Justin Godart, député, expose à M. le ministre des Finances le cas d'un contribuable qui, estimant ne pas être taxable aux bénéfices de guerre pour l'année 1919, par exemple, a fait pour cette année une déclaration négative : qui, au début de 1920, a établi, d'autre part, sa déclaration de bénéfices industriels et commerciaux (réalisés en 1919); que l'administration impose aux bénéfices de guerre pour 1919 ajoutant que cette taxe diminue d'autant les bénéfices industriels et commerciaux de 1919 que l'intéressé peut avoir payés à l'heure actuelle, et demande quelle méthode il doit employer pour se faire rembourser, le délai de trois mois pour réclamation étant expiré. (Question du 22 décembre 1921.)

Réponse. — Les impositions établies devenant définitives lorsqu'elles n'ont pas fait, de la part des intéressés, l'objet d'une réclamation introduite dans le délai légal, le contribuable visé dans la question n'est plus en droit de demander par la voie contentieuse la réduction de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux auquel il a été assujéti. Toutefois, il lui appartient de faire connaître sa situation à l'administration qui pourrait prononcer d'office le dégrèvement de la partie de sa cotisation formant surtaxe, s'il était établi que c'est par suite d'une interprétation défectueuse de la loi qu'il a souscrit une déclaration négative en vue de l'établissement de la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre.

Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices commerciaux des assujéti à la contribution sur les bénéfices de guerre.

Le « *Journal officiel* » du 25 janvier 1922 publie, page 125 des « *Débats parlementaires, Chambre* », la question et la réponse qui suivent :

11443. — M. Victor Constant (Haute-Loire), député, demande à M. le ministre des Finances si, en vue de l'établissement de l'impôt sur les bénéfices commerciaux, le contrôleur a le droit d'obliger le contribuable à comprendre dans lesdits bénéfices les sommes payées au titre de bénéfices de guerre. (Question du 22 décembre 1921.)

Réponse. — Lorsqu'un contribuable est assujéti à la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre, l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux dont il peut être passible ne doit porter que sur la partie de ses bénéfices qui lui reste acquise après que la contribution extraordinaire a été prélevée. Des instructions dans ce sens ont été adressées au service des Contributions directes et l'administration n'a pas en connaissance qu'elles aient été perdues de vue. Elle ne manquerait pas, au surplus, de les rappeler, le cas échéant, aux agents qui lui seraient signalés comme ne les ayant pas observées.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 10.

11 MARS 1922.

Chronique. — A propos de la mesure des débits d'eau par les suppressions résultant d'une fermeture. — Société française des Electriciens. — Bibliographies : Les ingénieurs et la guerre, par M. Albert RANC; Stations centrales, postes de transformation et lignes de transmission de force, par V. NEVEUX; Les combustibles liquides et leurs applications, par le SYNDICAT D'APPLICATIONS INDUSTRIELLES DES COMBUSTIBLES LIQUIDES; La théorie de Bohr, la constitution de l'atome et la classification périodique des éléments, par Edmond BACER; Statistique et dynamique, t. II, par H. BEGHIN, p. 337-339.

Union des Syndicats de l'Électricité, p. 340.

Section scientifique et technique. — L'expérience de Michelson et la théorie de la relativité, par E. BRYLINSKI, p. 345. — Revues, analyses et informations : Action thermoélectrique et conduction thermique dans les métaux, p. 349.

Section industrielle. — Application de la traction électrique par courant monophasé sur le réseau de la Compagnie des Chemins de fer de la Camargue, par J. REYVAL, p. 351. — Notes sur la mesure des vitesses de rupture dans les interrupteurs à huile, par G. LONGUE, p. 359. — Cahier des charges pour la fourniture des isolateurs à cloche en porcelaine ou en verre, établi par l'Union des Syndicats de l'Électricité, p. 362. — Revues, analyses et informations : Appareil permettant la détermination exacte de la fréquence au moyen d'une méthode de zéro, p. 365; Détermination de la capacité propre des transformateurs, p. 366.

Section économique et financière. — Rôle de l'Ecole pratique et des Cours professionnels dans les industries électriques, par E. LABBÉ, p. 367.

Section de législation. — La nouvelle loi de finances, exigibilité des impôts, date des réclamations, par Paul BOUGAULT, p. 373. — Législation, jurisprudence, réglementation : Sur l'évaluation des impôts concernant le matériel et les immeubles industriels, p. 376.

A propos de la mesure des débits d'eau par les suppressions résultant d'une fermeture. — Dans le numéro du 1^{er} octobre 1921, la « Revue générale de l'Électricité » a publié, pages 434-436, une analyse d'un article de M. R. DUBS, paru dans « Schweizerische Bauzeitung », dans lequel l'auteur faisait quelques critiques à une méthode proposée en 1920 par un ingénieur hydraulicien américain N.-R. GIBSON pour la mesure du débit d'une conduite d'eau par les variations de pression consécutives à une fermeture de la conduite. Peu après, M. le comte de Sparre nous adressait une lettre (*R. G. E.*, 5 novembre 1921, t. X, p. 626), où il montrait que l'on peut arriver simplement à la formule de Gibson en partant des formules établies par lui et vérifiées par MM. Camichel, Eydoux et Gariel.

Récemment, dans le numéro du 18 février 1922, t. XI, p. 233-234, nous avons fait connaître la réplique de M. K.-L. KARLSSON aux critiques de M. Dubs et, dans le même numéro nous signalions, page 217, que M. Gibson avait lui-même fait quelques observations aux critiques de M. Dubs et que celui-ci avait répondu à son tour dans un des derniers numéros de la « Schweizerische Bauzeitung ».

La lettre suivante, que vient de nous adresser M. le

comte de Sparre, apporte une nouvelle contribution à la discussion.

A peu près toutes les conduites industrielles sont, à l'heure présente, à caractéristiques variables. Or si, ainsi que je l'ai montré, et comme le fait a été vérifié par MM. Camichel, Eydoux et Gariel, on peut, lorsqu'il s'agit d'une fermeture en un temps supérieur, ou au moins égal, à une période complète d'oscillation de l'eau, calculer le coup de bélier maximum en substituant à la conduite donnée une conduite d'épaisseur moyenne, convenablement calculée, cela conduit, par contre, à des résultats complètement inexacts si on veut considérer le phénomène dans son ensemble et envisager un nombre considérable d'oscillations de l'eau. Pour s'en convaincre, il n'y a qu'à se reporter aux diagrammes donnés par MM. Camichel, Eydoux et Gariel, en particulier à ceux figurant à la page 89 du Bulletin spécial n° 3 de la Société hydrotechnique de France (ou à la page 283 de l'Étude théorique et expérimentale des coups de bélier). On constatera qu'au bout de quelques oscillations, le calcul, fait en substituant à la conduite donnée une conduite moyenne à caractéristique constante, donne une dépression là où il y avait une surpression et inversement. Donc, toute méthode qui prend pour bases les résultats observés pendant un nombre important d'oscillations doit tenir compte, si la conduite est à caractéristique variable, du décalage qui se produit dans les oscillations, ce qui oblige à substituer à la conduite donnée, non une conduite à caractéristique constante

moyenne, mais, ainsi que je l'ai fait, une conduite formée de plusieurs tronçons ayant des caractéristiques différentes convenablement calculées. Il n'en est pas de même si on ne considère que le coup de bélier maximum, mais alors il faut supposer la loi de fermeture linéaire.

Société française des Electriciens. — Séance du 1^{er} mars 1922. — M. LIJOVICI, dans sa communication : « Sur un potentiomètre à déviation », fit une description de l'appareil qu'il a imaginé et qui permet de mesurer sans l'intermédiaire de réducteur des différences de potentiel allant jusqu'à 1,8 v.

La lecture de la mesure se fait sur le potentiomètre et sur un millivoltmètre.

Cet appareil, qui ne nécessite pas de réglage, réunit les avantages de précision d'un potentiomètre à la rapidité et à la commodité d'un instrument à déviation. Il est prévu pour l'utilisation comme étalon d'un élément Weston dont la force électromotrice est de 1,0184 v. Des dispositions spéciales sont prises pour éviter toute fausse manœuvre et pour permettre de faire le tarage de l'instrument au milieu d'une mesure sans risque de dérèglement. Un commutateur à trois directions est prévu à cet effet.

Dans le cas où on veut mesurer des forces électromotrices supérieures à 1,8 v. un commutateur permet de tarer automatiquement le millivoltmètre si la valeur de la réduction est modifiée.

L'appareil de M. Lijovici peut servir également à la mesure des résistances et des capacités. Il est facilement transportable, a une précision très grande 1/10 000 et permet des mesures très rapides.

Une deuxième communication « Sur les unités de mesure électrique » fut présentée par M. LANGEVIN. Nous n'insisterons pas sur cette communication, M. Langevin ayant traité lui-même la question dans la « R. G. E. » du 25 février 1922, t. XI, p. 259-263. Nous rappellerons seulement que le problème posé était le suivant : doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique ? La conclusion de M. Langevin est qu'il n'est pas possible de donner, même dans le vide, un sens intrinsèque à l'égalité entre un champ et une induction et qu'en conséquence, il serait utile d'avoir des unités différentes pour mesurer un champ et une induction.

A la suite de la communication de M. Langevin, M. Abraham prit la parole. D'après lui, il n'y a pas lieu d'adopter deux unités différentes ; ce qu'il faudrait, c'est changer les définitions universellement adoptées et, dans ce cas, M. Abraham estime qu'il est de son devoir de crier casse-cou.

M. Daniel Berthelot succéda à M. Abraham qu'il réfuta ; comme M. Langevin, M. Berthelot estime qu'il est nécessaire de choisir deux unités différentes pour mesurer le champ et l'induction.

Vu l'heure tardive, M. Rey, président de la Société française des Electriciens suspendit la discussion qui sera reprise dans une séance ultérieure. Elle est particulièrement captivante vu l'intérêt du problème et la valeur scientifique des participants.

H. C.

Bibliographie : Les ingénieurs et la guerre : par M. Albert RANC, docteur ès sciences, membre du Comité de l'Union des Syndicats d'Ingénieurs français⁽¹⁾. — Dans cette étude, l'auteur oppose à la formule de la mobilisation unique

(1) Une brochure, format 20 cm × 14 cm, 170 pages, éditée par Etienne Chiron, 40 rue de Seine, Paris. Prix : 6 fr.

et générale celle des mobilisations professionnelles basées sur le principe de l'utilité de la profession des mobilisés pour la défense nationale.

Après avoir rappelé succinctement le rôle qu'ont joué pendant la guerre savants et techniciens et montré que les exigences du combat moderne ont obligé la création, à côté de l'armée des opérations, d'une armée de préparation, seconde armée dont les effectifs atteignirent le tiers de ceux de la première, M. Albert Ranc s'attache à établir comment la mobilisation technique et scientifique peut être réalisée, avec souplesse, facilité d'adaptation, exactitude et le plus rigoureux respect de la justice. L'œuvre de la préparation matérielle de la guerre doit être une œuvre mixte, à la fois civile et militaire. Son expression la plus haute, dit-il, se réalisera dans un Conseil supérieur de la mobilisation technique et scientifique où une collaboration rationnelle, permanente et confiante s'établira, dès le temps de paix, entre les consommateurs de matériel de guerre et ses producteurs : savants, industriels, ingénieurs, ouvriers.

Bibliographie : Stations centrales, postes de transformation et lignes de transmission de force, par V. NEVEUX, ingénieur des Arts et Manufactures. Encyclopédie technique des Aide-Mémoire Plumon⁽¹⁾. — L'auteur envisage principalement la transmission de l'énergie électrique à grande distance avec considération spéciale du courant alternatif à haute tension : il se propose de décrire sommairement les installations comprises entre l'usine de production et les centres d'utilisation. On trouve, d'abord, à chaque extrémité de la ligne, les grands postes éleveurs et abaisseurs de tension ; l'auteur en donne des schémas très développés, visiblement inspirés de ceux décrits par M. Hayet dans la « Revue générale de l'Electricité » des 30 août, 6 et 8 septembre 1918, t. VI ; il indique, avec beaucoup de détails, tous les appareils de mesure et de protection, leur emplacement, la disposition des câbles de connexions et des interrupteurs, les tableaux ; enfin, l'équipement complet d'une sous-station moderne de grande puissance. Comme beaucoup de compagnies de distribution établissent chez leurs gros clients des cabines alimentées par les lignes à haute tension, on en trouvera également la disposition sous la forme de six schémas ; en somme, ce sont des postes en réduction qui comportent à peu près les mêmes appareils que les précédents. Cette partie occupe environ 60 pages, après lesquelles nous sommes conduits à l'étude des canalisations électriques. Dans le chapitre relatif au courant continu, l'auteur définit les distributions à intensité constante et à tension constante, indique le calcul des conducteurs, la règle de Kelvin et la distribution en boucle, la distribution en dérivation et termine par le cas d'une ligne alimentée à ses deux extrémités. Tout ceci s'applique au cas d'un réseau aérien. Le projet d'une ligne aérienne de transmission par courant alternatif est plus compliqué ; aussi l'auteur a-t-il jugé qu'il convenait de lui donner de plus amples développements et il indique la manière de calculer la chute de tension due à la résistance ohmique et à l'inductance de la ligne en montrant que l'application des formules se simplifie par l'emploi des abaques. Une fois connu le diamètre du conducteur qui satisfait aux conditions électriques de la ligne, il faut installer ce conducteur sur poteaux et sur isolateurs, ce qui ouvre un nouveau chapitre, assez détaillé, dans le-

(1) 1 volume, format 19 cm × 11 cm, de 239 pages, 156 figures dans le texte, édité par la Librairie polytechnique Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, Paris, et 8, rue des Dominicains, Liège. Prix, broché : 16 fr.

quel on trouvera toute la documentation relative au calcul mécanique des lignes aériennes et de leurs supports. Ici, encore, les abaques jouent un rôle important que l'auteur ne manque pas de mettre en relief.

La fin du livre est consacrée aux essais des lignes aériennes et à la recherche de leurs défauts ; puis on passe aux lignes souterraines : pose des câbles, boîtes de jonction, essais et recherches des défauts des câbles et on termine par quelques règlements et 22 tableaux. Ce petit livre est donc susceptible de rendre de grands services aux étudiants qui ont à établir un projet de ligne de transmission, parce qu'ils y trouveront la marche à suivre et que, pour de plus amples détails, ils n'auront qu'à se reporter aux ouvrages spéciaux ; il ne sera pas moins utile aux ingénieurs qui désirent revoir rapidement l'ensemble des conditions d'un réseau de distribution.

Mais nous devons protester contre l'abus de l'expression transmission de force pour transmission d'énergie, contre le mot voltage pour tension. Les symboles des grandeurs sont invariables ; il ne faut pas écrire des kgs, (fig. 95), ni des kilos par millimètre carré (p. 227-228, etc.), ni exprimer des millimètres par l'abréviation m/m, mais mm. Dans le tableau page 214, une colonne donne la résistance linéaire en ohms par kilomètre ou ohms : km, ce qui est parfait ; mais plus loin, page 217 et 221, on trouve déjà la résistance en ohms par kilomètre ou la résistance par kilomètre en ohms, et, enfin, à la page 219, nous tombons dans les poids exprimés en kg-km et les résistances à 0° en ohms-km. — B. C.

Bibliographie : Les combustibles liquides et leurs applications. par le SYNDICAT D'APPLICATIONS INDUSTRIELLES DES COMBUSTIBLES LIQUIDES (1). — Les applications techniques des combustibles liquides prenant chaque jour plus d'extension, il a paru au Syndicat qu'il devenait urgent de publier un ouvrage destiné à familiariser les industriels avec ce genre de combustible, dont l'emploi exige des appareils nouveaux et qui est soumis à une réglementation toute spéciale. Bien que les auteurs n'aient voulu donner à leur publication qu'une forme purement documentaire, nous devons dire que cette documentation est très largement développée et que les intéressés y trouveront tous les renseignements dont ils pourront avoir besoin. Dans le chapitre I sont définis l'objet, la composition et les statuts du Syndicat d'Application des Combustibles liquides. Dans le chapitre II sont reproduits les lois, décrets et règlements parus jusqu'au 31 décembre 1920 se rapportant aux droits de douane, au régime des importations des combustibles liquides, à la réglementation des établissements dangereux, insalubres ou incommodes, etc. ; cette partie s'étend de la page 11 à la page 189. Une annexe de 52 pages placée à la fin du volume (p. 570 à 621) complète cette documentation pour les règlements parus du 31 décembre 1920 au 1^{er} juillet 1921. Les autres chapitres sont purement techniques ou statistiques ; c'est ainsi que dans le chapitre IV on trouvera non seulement des considérations générales (ressources, production et consommation mondiale) sur les produits dérivés de la houille, sur les pétroles, les schistes bitumineux, la lignite, etc., mais

encore des indications sur la constitution d'une distillerie de goudron, sur le traitement du schiste et des huiles brutes. Les huiles lubrifiantes sont aussi largement traitées avec une description détaillée des essais et des analyses qu'on peut leur faire subir dans une usine ou un atelier non pourvus du matériel perfectionné nécessaire pour mener à bien ces expériences. Des résultats sous forme de tableaux ou de courbes complètent ces indications, notamment des courbes de viscosité, obtenues avec les appareils Engler, Barbey, Redwood, Saybolt. Cette partie est illustrée de 40 figures. Il paraissait tout indiqué d'accorder une mention particulière au moteur Diesel qui devient l'un des plus grands consommateurs de liquide combustible ; c'est le sujet du chapitre V. Après rappel des propriétés générales et du mode de fonctionnement de ce moteur, les auteurs reproduisent les schémas d'un certain nombre d'installations et les noms des constructeurs ; puis viennent la classification et la description des principaux brûleurs. Comme dernière application des liquides combustibles, l'ouvrage signale le chauffage des fours pour l'industrie métallurgique, la céramique et la verrerie, et l'industrie alimentaire. — B. C.

Bibliographie : La théorie de Bohr. La constitution de l'atome et la classification périodique des éléments. par Edmond BAUER. Conférence faite le 19 février 1921 à la Société de Chimie-Physique (1). — L'auteur s'est proposé de montrer comment les nombreuses études, tant théoriques qu'expérimentales, poursuivies depuis de nombreuses années, ont permis à Bohr d'aboutir à une conception de la structure de l'atome qui est aujourd'hui universellement admise. Un résumé de la conférence, préparé par un de nos collaborateurs, était déjà sous presse quand nous avons reçu la brochure en contenant le compte rendu in extenso ; ce résumé a été publié à la page 299 du précédent numéro ; il fait ressortir, mieux qu'une courte notice bibliographique, la grande valeur du travail de M. Bauer et nous espérons qu'il incitera nos lecteurs à se procurer l'ouvrage complet.

Bibliographie : Statique et dynamique, t. II, par H. BEGUIN, professeur à l'Ecole navale. Collection Armand Colin (2). — Ce second volume est naturellement conçu suivant le même esprit que le premier : partie théorique corroborée par de nombreuses applications pratiques et beaucoup d'exercices choisis avec le plus grand soin parmi les machines et les appareils usuels. Il implique aussi la connaissance du tome I auquel il faut se reporter souvent. Les principales matières traitées sont : la statique des solides invariables, la statique des corps déformables (fluides et fils), le travail virtuel ; puis, la dynamique des systèmes, théorèmes généraux, énergie, machines, la dynamique des solides invariables (mouvement d'un solide autour d'un point fixe, effet gyrostatique), chocs et percussions et, pour terminer, une note sur les systèmes d'unités. En résumé, ce cours de mécanique, à la fois concis et clair, sera utile aux ingénieurs et aux étudiants. — B. C.

(1) Un volume, 15 cm × 11 cm, de 621 pages, avec 59 figures et de nombreux tableaux dans le texte, édité par Gauthier-Villars et C^{ie}, 55, quai des Grands-Augustins, Paris, Prix, relié : 20 fr.

(2) Un volume, 25 cm × 16 cm, 52 pages, 4 figures dans le texte, édité par la Librairie scientifique J. Hermann, 6, rue de la Sorbonne, Paris (VI^e). Prix, broché : 4,50 fr.

(3) Un volume, 17 cm × 11 cm, de 208 pages, avec 51 figures dans le texte, édité par la librairie Armand Colin, 103, boulevard Saint-Michel, Paris (V^e). Prix, broché : 5 fr ; relié : 6 fr.

Union des Syndicats de l'Électricité

A la séance du 8 février 1922 du Comité de Direction de l'Union des Syndicats de l'Électricité a été lu le rapport suivant dans lequel sont présentés les travaux effectués par l'Union pendant l'année 1921.

Rapport présenté au Comité sur l'exercice 1921

Messieurs, nous avons l'honneur, conformément à l'article 10 de nos statuts, de vous rendre compte des travaux de notre Union au cours de l'exercice 1921.

Avant de vous résumer le triple rôle qu'elle a joué, vis-à-vis de ses adhérents, vis-à-vis des administrations françaises, et vis-à-vis de l'étranger, nous allons vous donner quelques indications sur sa vie intérieure.

I. — Sans nous étendre sur les statistiques, nous vous indiquerons que, d'après les toutes récentes données reçues de nos syndicats adhérents, le total des capitaux que représentent les adhérents de ces syndicats atteint, tant pour la construction du matériel électrique que pour l'exploitation des usines ou des réseaux, tout près de 6 milliards de francs. Ils occupent plus de 60 000 ouvriers dans les usines des constructeurs et environ 30 000 dans les réseaux, soit 90 000 au total. Il est donc naturel que notre Union ait quelque poids quand elle intervient et que ses avis ne soient pas sans autorité.

Le mouvement de notre correspondance en 1921 a été de 8 892 lettres reçues ou expédiées, représentant une moyenne mensuelle de 368 lettres à l'arrivée et de 373 au départ, nombres qui font ressortir une augmentation sensible par rapport à 1920.

Nos commissions ont tenu 62 séances, soit près de 2 séances par semaine pendant les neuf mois où le travail est intensif. Nous annexons à ce rapport, pour ne pas trop l'allonger, un résumé qui vous permettra de vous rendre compte de la marche de leurs travaux.

Parmi nos publications, dont la vente s'est considérablement accrue et qui nous sont demandées fréquemment même par l'étranger, la plus importante est notre annuaire, auquel nous donnons tous nos soins et dont nous avons l'ambition de faire l'annuaire-type. Son édition 1921 a eu un tel succès qu'elle a été entièrement épuisée en moins de cinq mois. Nous préparons activement l'édition 1922, qui présentera de nouveaux compléments et de nouvelles améliorations par rapport à ses devancières.

C'est au cours de l'année écoulée qu'a été prise la décision de changer le siège social de l'Union.

Vous vous rappelez, Messieurs, que l'Union avait été

transférée, le 1^{er} juillet 1917, du 25 de la rue Tronchet où elle était abritée par le Syndicat des Usines d'électricité, grâce à la bienveillance de M. Fontaine, au 7 de la rue de Madrid.

Mais son développement a été si rapide et le domaine de son activité s'est tellement étendu, qu'il lui est désormais impossible d'installer dans les trois pièces qu'elle loue rue de Madrid un personnel qui va être bientôt de 13 personnes et des archives de plus en plus nombreuses. En outre, elle va avoir à assurer la gestion du secrétariat général permanent de la Conférence internationale des Grands réseaux à très haute Tension.

Il a donc fallu qu'elle cherche un appartement répondant à ses besoins. Elle l'a trouvé, non sans beaucoup de difficultés, au 25 du boulevard Malesherbes, et nos services vont être incessamment transférés à cette nouvelle adresse.

Nous avons à cœur, au moment où nous allons quitter la rue de Madrid, de remercier très cordialement l'Union des Industries métallurgiques et minières, et notamment son président, M. Gabriel Cordier, son délégué général, M. Pinot, et son secrétaire général, M. Lambert-Ribot, de l'hospitalité si courtoise et si large qu'ils nous ont donnée. Ce n'est pas sans émotion que nous allons quitter cette maison, où nous laissons des amis très chers, et nous tenons à leur renouveler ici, en même temps que nos bien sincères remerciements, l'assurance des sentiments de très cordiale sympathie que nous conserverons d'eux tous.

II. — Nous avons poursuivi en 1921 l'œuvre de normalisation technique entreprise depuis plusieurs années et nous avons établi et publié les spécifications suivantes :

1° Un cahier des charges pour les isolateurs à cloche en porcelaine et en verre, édité sous le n° 146, et remplaçant le texte de 1917.

Les prescriptions de 1917 se sont montrées, au cours des progrès réalisés ces dernières années, comme ne répondant plus suffisamment aux conditions de la pratique et nous avons dû les mettre à jour. Le nouveau

texte diffère assez sensiblement de l'ancien et ne comprend plus notamment de profils-types ⁽¹⁾.

2° Un cahier des charges, entièrement nouveau, pour la fourniture des lampes à incandescence à filament métallique dans le vide. Les lampes à filament métallique et à atmosphère gazeuse feront l'objet de spécifications ultérieures.

La rédaction de ce cahier des charges répondait, elle aussi, à des nécessités pressantes et n'a pas demandé moins de dix-huit mois. Elle a provoqué des études nouvelles et, en particulier, l'établissement de graphiques qui sont appelés à rendre de très grands services pratiques.

D'autres unifications sont actuellement en cours et font l'objet de discussions approfondies à l'intérieur de nos commissions.

Une autre question fort importante, qui nous a beaucoup préoccupés, est celle des nouveaux tarifs douaniers.

L'industrie de la construction électrique française, comme l'industrie de la construction mécanique a été, on peut le dire, sacrifiée non seulement dans l'accord franco-suisse de 1906, qui a ouvert la voie aux importations allemandes, mais même dans la loi de 1910. Il y a de ce côté un très gros effort à faire et notre attention est appelée depuis longtemps sur ce point. Au cours des entrevues nombreuses que nos délégués ont eues, soit avec M. le ministre du Commerce, soit avec M. le directeur général des Douanes, soit avec M. le président de la Commission des Douanes de la Chambre, nous avons longuement insisté sur la nécessité de protéger l'industrie de la construction électrique beaucoup mieux qu'elle ne l'est actuellement. Nous avons montré les dangers qui la menacent de divers côtés et nous avons quelque espoir que nos efforts n'auront pas été vains. D'ailleurs, nous allons reprendre prochainement nos démarches quand, après la revision de la nomenclature douanière, va commencer la revision des tarifs eux-mêmes.

Il est à peine besoin de vous signaler, Messieurs, combien nous ont été utiles les études approfondies de notre collègue M. Sciamma, président de notre Commission des Douanes, et les propositions qu'il a rédigées.

III. — Nous avons eu à étudier, sur la demande du Ministère des Travaux publics et d'accord avec lui, deux textes particulièrement importants.

L'un est l'arrêté technique qui, publié par décret du 30 juillet 1921, remplace celui de 1911. Si vous vous en souvenez, Messieurs, nous avons constitué pour ce long travail une commission spéciale, la dix-neuvième, qui a fonctionné sous la présidence de M. Brachet. Etant donné que l'arrêté technique continuera à être

révisé périodiquement, cette commission doit être considérée comme une de nos commissions permanentes et, d'ailleurs, elle sera appelée à donner son opinion sur les consultations qui ne manqueront pas de nous être demandées au sujet de l'application de l'arrêté.

L'autre texte est celui des cahiers des charges établis pour l'application de la loi de 1906. A la suite des progrès techniques de ces dernières années, des nouvelles conditions de tarification et, aussi, des idées nouvelles qui se sont fait jour dans l'administration, les cahiers des charges-types de 1908 et de 1909 ont dû être révisés.

Nous nous félicitons que le Ministère des Travaux publics ait bien voulu nous consulter pour la rédaction des nouveaux cahiers des charges comme il l'avait fait pour l'arrêté technique.

Avec le Ministère du Travail, nous avons étudié le règlement d'administration publique qui va régir l'application de la loi de huit heures dans les entreprises de distribution d'énergie électrique de province. Le texte préparé par le Ministère vient d'être soumis au Conseil d'Etat et nous proposons de faire valoir auprès de ce grand corps quelques-unes des objections fondamentales qui n'ont pas retenu suffisamment, à notre avis, l'attention de l'administration du Travail.

Enfin, nous avons suivi avec l'attention la plus soutenue, le projet de loi actuellement pendant au Sénat sur la création des grands réseaux de jonction.

Nous avons donc, au point de vue de la législation des distributions, apporté une contribution importante et nous nous trouvons maintenant en présence de textes qui ont été pour ainsi dire renouvelés. Que ces textes répondent pleinement à ce que l'industrie aurait désiré, nous ne pouvons naturellement pas l'affirmer. Mais il n'en reste pas moins que notre collaboration avec l'Administration permet d'adapter le mieux possible aux nécessités de l'heure présente la réglementation officielle qui régit nos entreprises.

IV. — Il nous reste à montrer quelques autres aspects du rôle joué par notre Union.

En ce qui concerne la question du chauffage électrique, nous avons continué l'étude contradictoire des questions qui intéressent à la fois les constructeurs d'appareils et les distributeurs d'énergie. Afin de permettre à ces derniers de pouvoir installer chez leurs abonnés des interrupteurs horaires ou des compteurs change-tarifs leur donnant toute sécurité, nous avons fait entreprendre au Laboratoire central d'Electricité une série de vérifications expérimentales sur les appareils existants et nous avons reçu récemment de M. le directeur du Laboratoire un premier tableau résumant les observations faites sur une dizaine d'appareils. Il semble ressortir de cette première expérience que plusieurs modèles présentent des garanties suffisantes.

La même commission a établi, d'accord avec les constructeurs d'appareils et les représentants des réseaux, un petit tract intitulé : « Le confort chez soi par l'électricité », dans lequel elle fait connaître quel-

⁽¹⁾ Les prescriptions de 1917 ont été publiées dans la « Revue générale de l'Electricité » du 24 février 1917, t. 1, p. 306-308. Cette publication était précédée d'un article du rapporteur, M. R.-V. Picou, où celui-ci, pour éviter toute fausse interprétation du texte, présentait quelques commentaires.

Le nouveau texte est publié à la page 362 de ce numéro.

ques applications du courant compatibles avec les installations actuelles, et qui, tiré à 110 000 exemplaires, a été réparti entre une quinzaine de réseaux. Certains de ceux-ci en ont distribué 15 000.

Nous avons là un nouvel exemple de ce que peut la collaboration confraternelle des constructeurs de matériel et des exploitants des grands réseaux de distribution. Sur la question du chauffage, où les opinions étaient divergentes il y a deux ans, nous sommes arrivés par nos discussions de la cinquième commission, à faire disparaître sur un grand nombre de points les malentendus qui peuvent exister. Un certain nombre de réseaux sont disposés dès maintenant à autoriser et à développer le chauffage et la petite force motrice électriques à domicile, et deux d'entre eux viennent même d'organiser une exposition de tous les appareils nécessaires, afin de les répandre parmi leur clientèle. Il nous reste à espérer que les constructeurs vont poursuivre leurs efforts pour normaliser autant que possible leur matériel et pour établir, de concert avec les réseaux, les spécifications techniques qui donneront à la clientèle toutes les garanties voulues.

En ce qui concerne les applications de l'électricité à l'agriculture, la question n'est pas moins avancée. Notre sous-commission compétente a travaillé dans le même esprit que celle du chauffage et a suivi attentivement les essais forts intéressants poursuivis dans l'Eure-et-Loir, la Somme et la Haute-Garonne. Les perfectionnements du matériel d'électromotoculture sont des plus remarquables et la mise au point de plusieurs matériels est maintenant chose faite.

V. — Messieurs, comment pourrions-nous achever ce rapport sur l'exercice 1921 sans évoquer le souvenir de la Conférence internationale que nous avons réunie à Paris du 21 au 26 novembre ?

Quarante-sept délégués, représentant douze pays étrangers, sont venus à notre siège social étudier avec toute l'ampleur désirable les questions techniques qui touchent la construction et l'exploitation des grands réseaux de distribution d'énergie électrique à très haute tension.

Jusqu'ici, les ingénieurs, de quelque pays qu'ils fussent, n'avaient à leur disposition pour leurs études que des documents écrits : rapports, mémoires, revues ou livres. Mais il est humain de n'imprimer que ce qui est favorable à une méthode ou à une thèse et bien des questions restaient incertaines ou obscures. La grande nouveauté de la Conférence a peut-être été de permettre à tous les intéressés de se documenter verbalement et réciproquement, en toute franchise, sur les résultats favorables ou défavorables de telle ou telle méthode, et ils ont pu tirer de la Conférence une véritable leçon de choses sur toutes les questions pratiques qui retiennent journellement leur attention. Aucun d'eux ne nous a caché sa satisfaction d'avoir participé à des travaux ainsi organisés.

A Gennevilliers, nous avons fait visiter à nos hôtes la centrale la plus puissante du monde, et à Sainte-Assise

le poste de télégraphie sans fil, le plus puissant du monde et nous espérons que tous sont rentrés dans leur patrie en emportant une impression favorable sur la valeur de nos ingénieurs et l'ampleur de leurs conceptions.

La Conférence a donné des résultats assez importants pour qu'elle ait décidé à l'unanimité de se réunir désormais périodiquement et pour confier à son bureau et à son secrétaire général, qui est aussi le nôtre, le soin de créer et de gérer un office international permanent à l'organisation duquel nous allons maintenant apporter tous nos soins.

VI. — Nous ne voulons pas allonger, Messieurs, l'exposé que nous vous présentons et dans lequel nous ne voulons laisser que les idées les plus marquantes. Permettez-nous cependant de vous mentionner encore quelques-uns des principaux points sur lesquels a porté notre activité : rétablissement du banquet annuel et de la cérémonie au cours de laquelle sont distribuées les récompenses accordées aux agents méritants, création d'un prix de 500 fr que notre Union donnera désormais chaque année au meilleur élève du cours d'électricité industrielle du Conservatoire des Arts et Métiers (professé par M. Chaumat); collaboration à l'organisation des fêtes du Centenaire des Découvertes d'Ampère, participation aux travaux de l'Union des Industries métallurgiques et minières, dotation de six laboratoires en appareils pour essais d'huiles, affectation aux travaux de la septième Commission sur les interrupteurs d'une somme de 30 000 fr prise sur notre fonds de recherches techniques, lequel s'est enrichi de 8 000 fr provenant du boni du Groupe d'Electricité de l'Exposition de Strasbourg.

Vous voyez, Messieurs, que notre Union a fait preuve en 1921 d'une activité sans cesse grandissante.

Au point de vue technique, elle a continué son œuvre capitale de normalisation.

Par la collaboration qu'elle organise entre les constructeurs de matériel et les exploitants de réseaux, elle a agi à la fois comme organe de médiation et comme association de propagande, notamment en contribuant à développer comme elle l'a fait le chauffage électrique qui sera, croyons-nous, d'un si important intérêt dans l'avenir.

Vis-à-vis des pouvoirs publics et des grandes administrations, elle a centralisé toutes les questions qui intéressent les industries électriques françaises, au point de vue de la construction du matériel comme au point de vue de l'exploitation des réseaux, et elle a collaboré activement avec nos plus grands ministères : Finances, Commerce, Travaux publics et Travail.

De tous les points de la France lui parviennent journellement des demandes de renseignements ou de publications et elle est devenue, pour employer un terme qui nous est familier, le « tableau » où viennent

aboutir les demandes et d'où partent les renseignements.

Enfin, elle a désormais un rôle international, puisque c'est elle qui a mis sur pied la Conférence de novembre 1921 et que nous recevons dès maintenant, de tous les pays du monde, des demandes de collaboration qui prouvent qu'il y a tout intérêt, au point de vue extérieur comme au point intérieur, à ce que nos industries électriques disposent

d'un organe centralisateur unique, coordonnant ou répartissant entre nos groupements le travail et les efforts.

Nous n'oublions pas, Messieurs, que c'est à vous tous que nous devons les résultats obtenus et, en vous remerciant, nous vous prions de témoigner aussi, à ceux de vos collaborateurs qui nous apportent sans cesse leur travail ou leur intelligence, notre meilleure gratitude.

Annexe: Résumé des travaux des Commissions techniques en 1921

Quatrième Commission. (CAHIERS DES CHARGES ET NORMALISATION). — *Cahier des charges pour la fourniture des lampes électriques à incandescence à filament métallique dans le vide.* — La sous-commission chargée de cette étude a arrêté définitivement un texte de cahier des charges le 19 décembre 1921. Ce texte est soumis à la quatrième commission pour approbation.

Pertes à vide des transformateurs. — La sous-commission chargée de la réglementation des pertes à vide des transformateurs a arrêté un tableau définitif le 4 novembre 1921. Ce tableau est soumis pour approbation à la quatrième commission et à la sous-commission chargée d'étudier le projet de règles complémentaires d'unification.

Unification du gros appareillage. — La sous-commission chargée de cette étude a arrêté un nouveau texte qui a été proposé le 10 octobre 1921 à la quatrième commission. Ce texte ayant soulevé des objections de la part de différentes personnes a été renvoyé pour nouvelle étude à la sous-commission qui n'a pas encore terminé ses travaux.

Unification des transformateurs. — La sous-commission nommée pour étudier cette question s'est réunie, mais n'a pas encore fait connaître le résultat de ses travaux.

Tableaux des tolérances, pénalités et primes à admettre pour la fourniture du matériel électrique. — La quatrième commission, saisie d'un projet établi par la Chambre syndicale des Constructeurs de gros Matériel électrique, a nommé le 2 mai 1921 une sous-commission pour étudier cette question. Un tableau des tolérances à admettre comportant une limite pour l'application des pénalités et une limite de refus a été définitivement adopté par la sous-commission à la date du 6 octobre 1921. Ce tableau a été soumis à la quatrième commission pour approbation et à la sous-commission des règles complémentaires d'unification.

Règles complémentaires d'unification concernant les machines électriques. — La quatrième commission saisie d'un projet de règles complémentaires d'unification établies par la Chambre syndicale des Constructeurs de gros Matériel électrique a nommé le 10 octobre 1921 une sous-commission chargée d'étudier ce projet. La sous-commission n'a pas encore fait connaître le résultat de ses travaux.

Unification des appareils de mesure, transformateurs de mesure et shunts. — La quatrième commission saisie d'un

projet établi par le Syndicat des Industries électriques et la Chambre syndicale des Constructeurs de gros Matériel électrique a nommé le 10 octobre 1921 une sous-commission pour l'étude de ce règlement. Cette sous-commission, présidée par M. Ilievici, s'est réunie et a fait connaître les modifications demandées au projet en question. Ces modifications ont été soumises pour approbation à la quatrième commission.

Etudes diverses. — La quatrième commission a étudié en outre les questions suivantes :

- 1° Unification des prises de courant ;
- 2° Réglementation de l'emploi des moteurs synchrones et des moteurs à cage d'écureuil.
- 3° Unification des dimensions (rapport présenté par MM. Caquot et Rateau à la Commission permanente de Standardisation).

Cinquième Commission. (APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ). — *Applications de l'électricité au chauffage.* — La cinquième commission a nommé le 12 janvier 1921 quatre sous-commissions dont la première a été chargée d'étudier l'emploi et les perfectionnements à apporter aux appareils interrupteurs horaires ; la seconde, les appareils actuellement existants susceptibles de dénaturer le courant pour éviter les fraudes ; la troisième, d'étudier les appareils de chauffage actuellement existants et de déterminer ceux dont l'emploi peut être envisagé immédiatement ; la quatrième a été chargée d'établir un tract de propagande pour généraliser l'emploi des appareils électriques d'un usage courant pour les besoins domestiques.

La première sous-commission, après avoir entendu les différents constructeurs d'appareils interrupteurs horaires a fait mettre à l'essai au Laboratoire central d'Électricité les divers types d'appareils français et étrangers que l'on trouve actuellement dans le commerce. Les résultats de ces essais ne sont pas encore connus.

La troisième a arrêté le type d'un chauffe-eau pour lequel existeraient un modèle de 30 litres et un modèle de 100 litres. Ces appareils, construits par plusieurs maisons, sont actuellement en essais.

La quatrième sous-commission a établi un tract de propagande qui a été adopté et publié par les soins de l'Union des Syndicats de l'Électricité. Elle poursuit ses travaux dans différentes autres voies.

Applications de l'électricité à l'agriculture. — La cinquième commission, poursuivant son étude sur l'emploi possible de l'électricité dans les divers travaux agricoles, a eu

à examiner quelle était la tension de distribution qu'il convient d'adopter pour les réseaux ruraux ; sans statuer définitivement, elle a décidé de préconiser les tensions de 5 000 et 15 000 v.

La commission s'est rendue, d'autre part, le 27 juillet 1921 à la ferme de Cloches près de Houdan⁽¹⁾ pour y examiner deux systèmes de tracteurs dont un léger, présenté par la maison Douilhet, et l'autre lourd, présenté par la Société d'Entreprises électromécaniques.

La commission s'est également rendue à la ferme d'Ondes⁽²⁾ près de Toulouse le 17 octobre 1921 où elle a assisté à de très intéressantes démonstrations faites avec des tracteurs électriques.

Elle prépare la rédaction d'un règlement-type pour essais de charriages électriques.

Septième Commission. (APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE). — La sous-commission chargée d'étudier un programme d'essais pour déterminer les caractéristiques principales des interrupteurs à huile s'est réunie le 10 novembre 1921 pour adopter un programme établi par le Laboratoire central d'Electricité avec la collaboration de M. Vedovelli. La sous-commission a désigné quelques-uns de ses membres pour mettre au point l'appareil d'étude qui servira à faire ces essais. Elle a obtenu de l'Union des Syndicats de l'Electricité un crédit de 30 000 fr.

Quatorzième Commission (PORCELAINES ET VERRES ÉLECTROTECHNIQUES). — La sous-commission chargée d'étudier un cahier des charges pour la fourniture des isolateurs en porcelaine et en verre a terminé ses travaux et le texte de ces cahiers des charges a été définitivement adopté par la quatorzième commission le 17 novembre 1921. La quatorzième commission a décidé, en outre, de confier à la sous-commission ci-dessus le soin d'étudier les isolateurs suspendus en vue d'établir un cahier des charges pour leur fourniture.

La sous-commission chargée d'étudier les scellements pour isolateurs a mené une enquête aux fins de savoir quel est le genre de scellement qui semble donner les meilleurs résultats.

La sous-commission a remis le résultat de cette enquête,

(1) Les démonstrations de labourage électrique à la ferme de Cloches (Eure-et-Loir); Ach. DELAMARRE. *R. G. E.*, 17 décembre 1921, t. x, p. 888.

(2) Le nouveau matériel J. Estrade à la Semaine d'Electromotoculture d'Ondes; Ach. DELAMARRE. *R. G. E.*, 28 janvier 1922, t. xi, p. 121.

d'où il semble ressortir que le plâtre conviendrait mieux au scellement des isolateurs en verre (scellements entre ferrure et isolateur).

La sous-commission étudie en outre un programme d'essais à faire subir à diverses natures de scellement.

Enfin, la même sous-commission a recherché la forme la meilleure à donner aux ferrures d'isolateurs, mais elle n'a pas encore terminé ses travaux.

La quatorzième commission a étudié en outre les divers rapports traitant des isolateurs qui ont été présentés à la Conférence internationale des grands réseaux électriques à très haute tension.

Dix-huitième Commission (CANALISATIONS). — La dix-huitième commission chargée d'étudier les conditions d'emploi des câbles électriques s'est réunie et a nommé une sous-commission qu'elle a chargée d'étudier ce que devient la rigidité diélectrique des isolants employés dans la fabrication des câbles en fonction de la température. Une série d'essais a été décidée et le programme en a été arrêté d'accord avec le Laboratoire central d'Electricité. Ces essais doivent porter principalement sur des échantillons de papier imprégné de la qualité dont on se sert pour l'isolement des câbles. Ces essais ne sont pas encore commencés.

Vingt-troisième Commission (ÉTUDE DES RÉSEAUX DE JONCTION À HAUTE TENSION). — La vingt-troisième commission, nommée pour étudier tous les problèmes relatifs à la jonction des grands réseaux de distribution à très haute tension, s'est divisée en trois sous-commissions dont l'une a étudié spécialement les questions relatives à la construction des machines, la seconde les questions relatives à l'exploitation des lignes et la troisième les questions relatives à la construction des lignes.

Ces trois sous-commissions ont établi les rapports qui ont été présentés au nom de l'industrie française et discutés à la Conférence internationale des Grands réseaux au mois de novembre 1921.

Vingt-quatrième Commission (UNIFICATION DES MOTEURS DE TRACTION). — La vingt-quatrième commission chargée d'étudier la réglementation des moteurs de traction a nommé deux sous-commissions dont l'une étudie plus spécialement les règles d'unification et l'autre, les dimensions à donner aux divers types de moteurs.

Ces deux sous-commissions n'ont pas encore terminé leurs travaux.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

L'expérience de Michelson et la théorie de la relativité

La théorie de la relativité, telle que l'a édifiée M. Einstein, a pour base une hypothèse qui, au point de vue physique, repose uniquement sur une certaine interprétation de la célèbre expérience de Michelson. Il peut n'être pas inutile de montrer que cette interprétation n'est ni la seule admissible, ni même la plus probable.

I. — Rappelons sommairement le principe de l'expérience de Michelson. Un plateau circulaire horizontal, mobile autour d'un axe vertical passant par son centre O, porte à sa périphérie (fig. 1), en quatre points placés sur deux diamètres à angle droit, une source S émettant un mince faisceau lumineux dirigé vers le

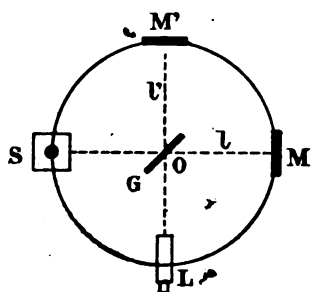


Fig. 1.

centre O, une lunette L pointée sur ce centre et deux miroirs M et M' tangents à la circonférence ; au centre O est placée, à 45° par rapport au faisceau lumineux, une glace sans tain G.

Une partie du rayon lumineux traverse la glace G, franchit la distance l de cette glace au miroir M, s'y réfléchit, revient en G, s'y réfléchit partiellement et cette fraction va à la lunette L. L'autre partie se réfléchit sur la glace G, franchit la distance l' de cette glace au miroir M', s'y réfléchit, revient en G, traverse partiellement la glace G et cette fraction va à la lunette L. Ces deux faisceaux se superposent dans le trajet OL. S'il n'y a pas de différence de marche entre les durées des trajets OMO et OM'O, on aura dans la lunette une tache brillante ; s'il se produit des interférences, ce sera la preuve d'une différence de marche optique.

La précision de l'expérience est limitée comme celle de toute expérience physique, mais elle est très grande. D'autre part, les essais ont été répétés et contrôlés de telle sorte que l'absence d'interférences qui a été constatée dans tous les cas peut être considérée comme acquise.

Orientons le plateau de telle sorte que la direction du

mouvement de translation de la Terre soit la bissectrice de l'angle MOM'; tout est parfaitement symétrique dans les conditions de marche des faisceaux OMO et OM'O et nous pouvons égaliser avec une grande perfection (à un nombre entier de longueurs d'onde près) les longueurs l et l' en amenant l'éclat de la tache lumineuse à son maximum dans la lunette L.

Faisons effectuer lentement un tour complet au plateau autour de son axe : à deux reprises, pendant cette rotation, la direction du mouvement de translation de la Terre sera bissectrice de l'angle MOM', à deux reprises cette direction coïncidera avec OM ou avec MO et à deux reprises avec OM' ou avec M'O. Quelles que soient les conditions de l'essai et la saison à laquelle on opère, on n'obtient jamais de franges d'interférence. Autrement dit, si l'on règle l'égalité de marche des deux faisceaux pour un azimut quelconque, cette égalité subsistera quelle que soit l'orientation du plateau par rapport à la direction de la translation terrestre.

Pour interpréter ce résultat, on raisonne en général de la manière suivante :

Le faisceau lumineux OM met un temps t_1 à effectuer ce trajet ; mais, si v est la vitesse de translation de la Terre par rapport à l'éther dans lequel est pris le système de référence suivant cette direction (on peut pen-

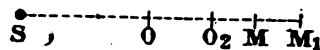


Fig. 2.

dant la durée d'une expérience considérer cette vitesse comme uniforme et négliger la rotation), le miroir M sera pendant ce temps (fig. 2) venu en M_1 tel que

$$MM_1 = vt_1,$$

Si d'ailleurs c est la vitesse de la lumière, on aura

$$t_1 = \frac{l + vt_1}{c},$$

d'où résulte

$$t_1 = \frac{l}{c - v}.$$

De même le faisceau réfléchi atteindra la glace G au bout d'un temps t_2 , au moment où le point O sera arrivé en un point O_2 tel que

$$OO_2 = v(t_1 + t_2)$$

et l'on aura

$$t_2 = \frac{l}{c+v},$$

de sorte que la durée totale du trajet aller et retour de ce faisceau sera égale à

$$t = t_1 + t_2 = l \left(\frac{1}{c-v} + \frac{1}{c+v} \right) = 2 \frac{l}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (1)$$

Pour le second faisceau $OM'O$, la marche est un peu différente. Pendant le temps t'_1 que met le faisceau à

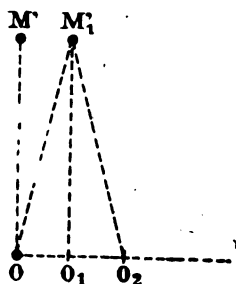


Fig. 3.

aller de O en M' , le point O est venu en O_1 (fig. 3) tel que

$$OO_1 = vt'_1,$$

de telle sorte que le chemin parcouru est l'hypothénuse OM'_1 et que l'on a

$$ct'_1 = \sqrt{l^2 + v^2 t'^2_1},$$

ou

$$t'_1 = \frac{l}{\sqrt{c^2 - v^2}}.$$

De même, le faisceau réfléchi regagne en un temps t_2 la glace sans tain au point O_2 tel que

$$O_1O_2 = vt'_2,$$

d'où résulte

$$t'_2 = \frac{l}{\sqrt{c^2 - v^2}}.$$

Le temps total employé au trajet aller et retour de ce faisceau a donc pour valeur

$$t' = t'_1 + t'_2 = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2l}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (2)$$

L'expérience montre qu'il n'y a pas de différence de marche appréciable et, par conséquent, que t est très sensiblement égal à t' , ce qui nécessite que

$$l = l' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (3)$$

On doublera la précision de l'expérience en établissant l'égalité de marche optique quand OM coïncide avec la direction du mouvement de translation de la Terre, et assujettissant ensuite OM' à coïncider avec cette direction.

II. — L'interprétation qui se présente immédiatement à l'esprit est la célèbre *contraction de Lorentz*, qui semble être maintenant abandonnée.

Une autre interprétation, qui jouit actuellement d'une grande faveur, est celle de M. Einstein, qu'on peut résumer à peu près de la manière suivante. Les conceptions qu'on s'est faites jusqu'à présent de l'espace et du temps sont périmées; on ne saurait envisager un temps absolu, non plus qu'un espace absolu, mais seulement un *Univers*, qui est l'ensemble des *événements*. L'espace est l'ensemble des événements simultanés. La propagation de la lumière se fait avec la même vitesse dans toutes les directions à la fois pour divers groupes d'observateurs en mouvement les uns par rapport aux autres; chacun des observateurs peut se considérer comme immobile par rapport au milieu qui transmet la lumière et tout se passe pour lui comme si la lumière se propageait avec la même vitesse dans toutes les directions ⁽¹⁾.

Cette hypothèse, qui donne une explication de l'expérience de Michelson, ne s'en déduit cependant que par un chemin compliqué. On fait d'abord abstraction de ce que l'expérience a lieu à la surface de la Terre; on fait abstraction de ce que la source, les appareils et les observateurs se déplacent en bloc, en comparant les résultats des essais faits à six mois de distance et considérant les premiers observateurs comme en mouvement relatif par rapport aux seconds; on étend le résultat obtenu pour une vitesse déterminée, et relativement faible, à une vitesse quelconque; on attribue implicitement au milieu qui transmet la lumière certaines propriétés particulières; d'autres hypothèses sont encore implicitement introduites.

III. — Il est intéressant d'examiner de plus près ces divers points, ou du moins quelques-uns d'entre eux,

⁽¹⁾ *Bulletin de la Société française de Physique*, 12^e année, n° 1, janvier 1912, p. 1 et suivantes (notamment p. 16 et 17). Thèse de M. LANGEVIN.

et, tout d'abord, la question du milieu qui transmet la lumière.

Faisons abstraction un moment des connaissances acquises ; la lumière ne peut se transmettre que par la matière, ou par l'émission de corpuscules, ou par des ondulations supposant nécessairement l'existence d'un milieu spécial, que nous avons le droit d'appeler l'éther.

Si la lumière se transmettait par la matière, qui se déplace d'un seul bloc avec la source et les appareils, il n'y aurait pas de vitesse relative entre la Terre et le milieu véhiculant la lumière et, par conséquent, il ne pourrait en aucun cas y avoir de différence de marche entre les deux faisceaux : le résultat de l'expérience de Michelson serait forcément négatif dans tous les cas ; l'expérience serait inutile.

Si la lumière était due à des corpuscules émis par la source à la vitesse c lorsqu'elle est au repos, la vitesse de ces corpuscules deviendrait $c + v$ dans le cas de la source en mouvement, et la conclusion serait la même.

Le fait qu'on admet que l'expérience puisse donner un résultat positif implique donc l'adoption de la théorie de la propagation de la lumière au moyen d'ondulations produites dans l'éther.

Ce résultat était connu. La matière ne peut pas être le véhicule de l'énergie lumineuse, puisque nous voyons des astres séparés de nous par d'immenses espaces dépourvus de matière. La théorie de l'émission a dû, après une longue lutte, disparaître devant la théorie des ondulations, et les efforts tentés pour la ressusciter n'ont pas abouti. Il n'aurait donc pas été nécessaire d'y insister si l'éther n'était pas de temps à autre supprimé d'un trait de plume par ceux-là mêmes qui prétendent tirer parti du résultat négatif de l'expérience de Michelson.

IV. — Plaçons donc le faisceau lumineux dans l'éther où se fait sa propagation. Cet éther peut être absolument immobile, ou avoir un mouvement de translation uniforme, peu importe ; la seule vitesse à envisager pour le moment est la vitesse de translation uniforme de la source par rapport à l'éther.

Si cette vitesse est nulle, la source émet des ondes sphériques qui se propagent avec la vitesse c dans tous les sens. Si cette vitesse a une valeur finie, non nulle, v , il semble naturel de supposer que les ondes émises se propagent avec une vitesse $c + v$ dans la direction du mouvement de la source par rapport à l'éther, $c - v$ dans la direction opposée et $\sqrt{c^2 + v^2}$ dans les directions perpendiculaires. Dans une direction faisant un angle φ avec celle du mouvement, on aura pour la vitesse de propagation

$$\sqrt{c^2 + v^2 + 2cv \cos \varphi},$$

et la surface d'onde au temps t après l'émission de l'onde sera une sphère de rayon ct ayant pour centre la position de la source au moment t .

Dans cette hypothèse, l'expérience de Michelson ne

pourrait avoir qu'un résultat négatif, que l'éther soit absolument immobile ou qu'il participe dans une mesure quelconque à la translation terrestre.

En effet, le faisceau OM , se propageant avec une vitesse $c + v$, mettra le temps $\frac{l}{c}$ à aller de O en M_1 (fig. 2) ; l'effet de la réflexion sera le même que si le faisceau était émis par une source S_1 (fig. 4) symé-

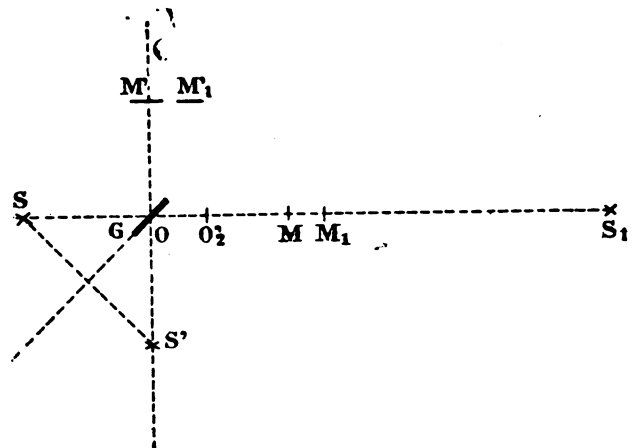


Fig. 4.

trique de S par rapport à M_1 , de sorte que le faisceau $M_1 O_2$ se propagera avec une vitesse $c - v$ et mettra également le temps $\frac{l}{c}$ à aller de M_1 en O_2 ; la durée du trajet sera toujours $2 \frac{l}{c}$.

D'autre part, le faisceau OM' se comportera comme s'il était émis par une source S' , symétrique de S par rapport à G , c'est-à-dire qu'il se propagera vers M' avec la vitesse c , mais en se déplaçant en bloc perpendiculairement à sa direction avec la vitesse v . Il fera donc le parcours OM' dans le temps $\frac{l}{c}$ et il en sera de même du parcours réfléchi $M' O_2$, de sorte que la durée du trajet sera toujours $2 \frac{l}{c}$.

Ainsi, quelle que soit la vitesse de la source par rapport à celle de l'éther qui intervient dans l'expérience, il ne saurait y avoir, dans cette hypothèse, de différence de marche entre les deux faisceaux et le résultat de l'expérience serait toujours négatif.

Il serait nécessaire, pour que l'expérience de Michelson donnât un résultat positif, que la vitesse de propagation dans l'éther fût indépendante (ou peu dépendante) de la vitesse de la source et, par conséquent, la même dans toutes les directions. Mais cette condition nécessaire n'est pas suffisante.

V. — Supposons cette condition réalisée ; nous nous trouverons amenés à refaire le raisonnement du § 1, où la vitesse v est la vitesse relative de la source, par con-

séquent de la Terre, par rapport à l'éther *situé à sa surface immédiate*.

Or, l'équation (3) a une solution immédiate, qui est $v = 0$. Il est, en effet, évident que si l'éther dans lequel se propagent les faisceaux lumineux est totalement entraîné par la Terre dans son mouvement, il ne peut y avoir de différence de marche entre les deux faisceaux ; il suffira même que l'éther soit partiellement entraîné, mais dans une proportion suffisante pour que la différence de marche n'atteigne pas celle qu'exigerait la précision de l'expérience, pour que le résultat soit négatif.

Ainsi, pour que l'expérience fût positive, il faudrait réaliser à la fois les deux conditions suivantes :

1° La vitesse de propagation dans l'éther des ondes émises par une source en mouvement relatif de translation uniforme est indépendante, ou peu dépendante, de la vitesse de cette source ;

2° L'éther avoisinant la surface de la Terre n'est pas entraîné, ou peu entraîné, par la Terre dans son mouvement de translation.

Le fait que le résultat de l'expérience est toujours négatif semble devoir entraîner simplement la conclusion que l'une de ces deux conditions au moins n'est pas réalisée.

VI. — Il n'est, d'ailleurs, pas dénué d'intérêt de chercher à nous rendre compte, d'après quelques considérations élémentaires, des probabilités d'entraînement de l'éther superficiel.

Tout d'abord, il est incontestable que l'éther possède une densité finie, non nulle ; si, en effet, cette densité était nulle, la force vive de l'unité de volume d'éther en vibration lumineuse serait également nulle. De plus, cette densité n'est pas seulement finie mais déterminée, sans quoi la vitesse de propagation de la lumière dans l'éther ne serait pas finie et déterminée, alors qu'elle l'est.

L'éther ayant une densité non nulle doit être attiré par la masse terrestre, qui est très importante, et cet effet doit se faire sentir principalement dans le voisinage de la surface de la Terre, d'où résulte une probabilité d'entraînement.

D'autre part, quand un faisceau lumineux traverse un corps transparent, il subit de la part de la matière une action énergétique, qui n'a pas seulement pour effet de diminuer son énergie, mais modifie notablement sa vitesse de propagation dans le corps. Lorsque le corps n'est pas transparent, l'action peut être bien plus énergétique encore, puisque l'énergie lumineuse peut être entièrement absorbée par une mince pellicule du corps

et la propagation complètement empêchée dans le corps. En constatant ces réactions énergiques de la matière sur l'éther, on se demande comment cet éther pourrait rester insensible aux mouvements de la matière qu'il pénètre ou qu'il avoisine immédiatement.

Enfin, l'entraînement au moins partiel de l'éther par la matière a été prouvé par l'expérience bien connue de Fizeau.

Il apparaît ainsi que ce que nous savons des réactions de la matière sur l'éther tend à nous montrer à priori que l'expérience de Michelson doit normalement donner un résultat négatif, de sorte qu'on ne voit pas bien comment la constatation de ce résultat négatif suffirait à motiver le bouleversement profond des notions d'espace et de temps qu'a imaginé M. Einstein.

VII. — Est-ce à dire que, faute de base physique suffisante, le magnifique édifice mathématique édifié par M. Einstein soit destiné à disparaître ? Rien n'est moins certain.

Tout en reconnaissant qu'au point de vue physique la notion de force instantanée à distance est inacceptable, nous avons continué à calculer les mouvements des corps au moyen de semblables forces. Ce procédé n'a pas révélé d'inconvénients pour les déplacements usuels des corps matériels, où les vitesses en jeu sont si petites par rapport à la vitesse de la lumière que les écarts en résultant sont inappréciables. Il aurait pu en avoir en astronomie, où l'on détermine les mouvements de certains astres avec une extrême précision, s'il n'intervenait dans ce cas de multiples perturbations auxquelles on peut attribuer presque tous les écarts révélés par l'observation. Peut-être en a-t-il de plus sérieux dans l'étude des mouvements des électrons, où l'on rencontre des vitesses dont l'ordre de grandeur s'approche de celui de la vitesse de la lumière.

On peut se demander si la complication plus grande résultant, dans les équations du mouvement, de l'introduction de la vitesse de propagation des forces ne disparaîtrait pas, au moins partiellement, en remplaçant, conformément à des idées récemment émises par M. J. Le Roux, la variable temps absolu par une variable de nature différente, qui pourrait être le temps relatif de M. Einstein ou quelque chose d'analogue, auquel cas toute la théorie mathématique, avec les simplifications des équations générales auxquelles elle aboutit, conserverait sa valeur sans qu'il fût besoin de bouleverser les notions de l'espace et du temps absolus.

E. BRYLINSKI.

Revue, analyses et informations

Action thermoélectrique et conduction thermique dans les métaux ⁽¹⁾.

L'auteur résume ici les principaux résultats de ses travaux. Son point de départ était l'hypothèse d'une double conduction électrique : 1° passage d'électrons d'atome à atome pendant les contacts des atomes avec des ions positifs ; 2° circulation d'électrons libres dans les champs de force relativement faibles appelés espaces inter-atomiques. Sur cette base, on a établi une équation donnant les conditions de l'état stationnaire dans une barre isolée, chaude à une extrémité et froide à l'autre, et deux équations pour les conditions d'équilibre à la jonction de deux métaux.

Pour la barre isolée, l'état stationnaire consiste en un courant d'électrons liés vers les températures croissantes, et un courant égal d'électrons libres en sens contraire. Ceci implique une libération d'électrons de leur union atomique, c'est-à-dire une ionisation, à l'extrémité chaude de la barre, avec absorption de chaleur, et une recombinaison à l'extrémité froide, avec dégagement de chaleur. Evidemment de ce double phénomène résulte un transport de chaleur, et la question se pose, à ce propos, de savoir s'il peut expliquer en totalité ou en partie la conductivité thermique dans les métaux.

À la jonction de deux métaux, d'autre part, les conditions d'équilibre ne permettent pas de mouvements de circulation des électrons.

Dans un récent travail, l'auteur a émis les hypothèses suivantes :

1° Le nombre n d'électrons libres par centimètre cube du métal est exprimée par l'équation

$$n = zTq, \quad (1)$$

où T est la température absolue, z et q des constantes ;

2° Le rapport $(k_f : k)$ de la conductivité due aux électrons libres à la conductivité totale est donné par l'équation

$$(k_f : k) = C + C_1 t + C_2 t^2, \quad (2)$$

où t est la température centésimale, et où C , C_1 , C_2 sont des constantes ;

3° La chaleur d'ionisation, en ergs, est, par électron,

$$V = V_c + sRT, \quad (3)$$

où V_c est une constante ; R , la constante des gaz pour une molécule et s , une constante supérieure ou égale à 2,5.

Les équations (1), (2) et (3) introduisent pour chaque métal sept constantes caractéristiques z , q , C , C_1 , C_2 , V_c et s , mais z peut ici être laissée de côté, car la valeur numérique de n n'aura à être considérée qu'incidemment.

Pour déterminer les six autres constantes, il faut pour chaque métal six équations. Supposons que l'on connaisse pour chaque métal la valeur σ de l'effet Thomson, les valeurs θ_0 à 0° et θ_{100} à 100° de la conductivité calorifique,

σ peut s'exprimer sous la forme

$$\sigma = K + (K_1 + K_2 T), \quad (4)$$

où K , K_1 , K_2 sont des fonctions déterminées de q , C , C_1 ,

⁽¹⁾ Edwin H. HALL. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, mars 1921, t. VII, p. 98-107.

Les expériences de Bridgman fournissent les valeurs de K , K_1 et K_2 pour beaucoup de métaux, ce qui permet de déduire trois relations de l'effet Thomson.

La conductivité thermique est donnée par l'équation

$$\theta = \frac{R^2}{\rho^2} \left(\frac{V_c}{R} + sT \right) \frac{k_a k_f}{k} (s + q - 1.5), \quad (5)$$

dans laquelle la conductivité k_a due aux électrons associés est égale à $(k - k_f)$; avec les valeurs connues de θ_0 et θ_{100} on obtient deux nouvelles équations entre les six quantités caractéristiques à déterminer pour chaque métal.

Ainsi pour deux métaux, α et β , avec douze quantités à déterminer, on a dix équations données par les propriétés des métaux, chaque métal étant considéré séparément. Quand les deux métaux sont mis au contact à 0° et à 100°, on a deux équations de l'effet Peltier, de la forme

$$\pi = \left(\frac{k_f}{k} \right)_\beta \lambda_\beta - \left(\frac{k_f}{k} \right)_\alpha \lambda_\alpha, \quad (6)$$

où λ_β est la chaleur, comptée en ergs, nécessaire pour libérer (1 : e) électrons dans β et λ_α a la même signification pour α .

Ainsi, on a douze équations pour déterminer les douze constantes en question.

Si la théorie était parfaite et les données expérimentales complètes, chaque constante pourrait être trouvée exactement, où à un degré de précision donné, au moyen des équations énumérées ci-dessus ; mais ni l'une ni l'autre de ces conditions n'est remplie complètement. Il est improbable, par exemple, que l'équation (1) soit strictement valable dans une étendue considérable de température. Les données expérimentales utilisées sont sans doute aussi plus ou moins inexactes, et il a fallu plusieurs fois combler le manque d'observations par des méthodes plutôt hasardeuses, particulièrement en ce qui concerne les valeurs de la conductivité thermique. D'une façon quelque peu arbitraire, on a convenu de considérer les valeurs de σ données par Bridgman comme strictement correctes, quoiqu'il ne les regarde pas lui-même comme telles. On a fait de même vis-à-vis des valeurs utilisables de k_0 , k_{100} , θ_0 et π_0 . Il en résulte que les valeurs de θ_{100} et π_{100} déduites des équations sont entachées des erreurs accumulées dues à la théorie et aux données expérimentales, et il n'est pas très étonnant de les trouver dans quelques cas très différentes des valeurs observées.

Le tableau suivant contient la proportion pour 100 (γ) d'électrons libres et d'atomes (y compris les ions positifs) contenus dans le métal, à 0°C. On a employé pour le calcul de γ la relation

$$k = \frac{n l e c^2}{L R T}, \quad (7)$$

qui donne la conductivité due aux électrons libres. On a pris l égal à dix fois la distance de centre à centre de deux atomes adjacents.

Dans les colonnes II et III sont données, en unités absolues les valeurs du gradient du potentiel poussant les électrons associés vers les températures croissantes, à 0° et à 100°.

P est le potentiel dû à la charge électrique, et $\frac{dP}{dl}$ paraît se prêter à une mesure électrostatique. P_a est le potentiel dû à

| | I | II | III | IV | V | VI | VII |
|-----------------|----------|------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|----------------------|-------|------|
| | γ | $\left[\frac{d(P + P_a)}{dT} \right]_0$ | $\left[\frac{d(P + P_a)}{dT} \right]_{100}$ | δ à 0° | δ à 2 727° | | |
| Aluminium..... | 10,5 | — 4 070 | — 4 050 | 0,142 | 1,46 | 0,211 | 0,54 |
| Bismuth..... | 1,0 | — 6 620 | — 6 340 | 0,169 | 1,18 | 0,009 | 0,29 |
| Cobalt..... | 4,9 | — 6 120 | — 6 020 | 0,125 | 1,35 | 0,130 | 0,86 |
| Cuivre..... | 11,7 | — 3 970 | — 3 870 | 0,162 | 1,75 | 0,388 | 0,80 |
| Or..... | 11,4 | — 4 030 | — 3 940 | 0,159 | 1,72 | 0,260 | 0,60 |
| Fer..... | 0,7 | — 2 530 | — 2 680 | 0,348 | 3,85 | 0,638 | 0,85 |
| Magnésium..... | 11,1 | — 3 550 | — 3 550 | 0,196 | 1,78 | 0,224 | 0,40 |
| Molybdène..... | 4,4 | — 3 540 | — 3 110 | 0,197 | 2,06 | 0,099 | 0,70 |
| Nickel..... | 3,1 | — 5 790 | — 6 160 | 0,127 | 1,29 | 0,093 | 0,89 |
| Palladium..... | 2,6 | — 4 720 | — 5 080 | 0,160 | 1,68 | 0,066 | 0,57 |
| Platine..... | 2,9 | — 4 410 | — 4 680 | 0,157 | 1,69 | 0,078 | 0,67 |
| Argent..... | 15,2 | — 4 050 | — 3 960 | 0,169 | 1,84 | 0,365 | 0,58 |
| Thallium..... | 1,8 | — 3 910 | — 3 960 | 0,180 | 1,88 | 0,027 | 0,36 |
| Etain..... | 3,2 | — 3 700 | — 3 720 | 0,179 | 1,73 | 0,052 | 0,39 |
| Tungstène..... | 1,9 | — 4 120 | — 3 770 | 0,268 | 2,92 | 0,072 | 0,61 |
| Zinc..... | 3,2 | — 3 720 | — 3 820 | 0,178 | 1,81 | 0,093 | 0,64 |
| Constantan..... | 0,7 | — 7 780 | — 8 530 | 0,158 | 1,71 | 0,024 | 0,85 |
| Manganine..... | 0,3 | — 4 180 | — 4 060 | 0,228 | 2,47 | 0,013 | 0,77 |

une attraction différentielle du métal inégalement chauffé pour les électrons associés, et $\frac{dP_a}{dT}$ ne semble pas pour le moment accessible à l'expérience directe. En intégrant de 0° à 100°, $\frac{d(P + P_a)}{dT}$ donne des différences de potentiel s'étendant de 0,0026 v environ pour le fer à 0,0055 v environ pour le bismuth et le cobalt, et environ 0,008 v pour le constantan.

La colonne IV donne les valeurs du *potentiel ionisant*, en volts, dans les métaux à 0°, et V montre ce que deviendraient ces valeurs à 2 727°C, ou 3 000° absolus, si l'équation

$$\lambda' = \lambda'_c + sRT,$$

était encore valable à cette température.

Rien d'exact ne peut être attendu d'une telle extrapolation, qui ne tient pas compte de la fusion ou de la vaporisation, mais il est intéressant de noter que les valeurs $\lambda \delta$ ainsi obtenues sont du même ordre de grandeur que celles trouvées par l'expérience directe sur les vapeurs des métaux, quoique un peu plus petites.

La colonne VI montre, en calories, la quantité de chaleur absorbée par les ions libres et par le processus d'ionisation en portant 1 cm³ du métal de 0° à 1°. Enfin la colonne VII donne la capacité calorifique expérimentale du métal, par centimètre cube.

Evidemment les nombres de la colonne VI doivent être plus petits que les nombres correspondants de la colonne VII, ce qui est le cas ; mais, pour l'aluminium, le cuivre, l'or et le magnésium le rapport est voisin de 0,5, et il est supérieur à 0,5 pour l'argent. Pour ces métaux, le rapport est plus grand qu'il n'était probable, et on pourrait s'attendre, si les nombres de la colonne VI étaient exacts, à de plus grands écarts à la loi de Dulong et Petit, que ceux qu'ils manifestent en fait. Il ne faut pas oublier, cependant, que les valeurs de γ , dont dépendent les nombres de la colonne VI, sont basées sur la supposition que le libre parcours moyen des électrons libres dans un métal est dans tous les cas égal

à dix fois la distance de centre à centre de deux atomes adjacents. Si nous supposons des parcours plus longs, on obtient des valeurs plus petites dans les colonnes I et VI. D'après Compton et Ross un électron excité pour l'émission photoélectrique peut se mouvoir dans l'ordre suivant des libres parcours moyens atteignant vingt fois la distance de centre à centre de deux atomes contigus.

Eu égard au fait que les chaleurs spécifiques connues des métaux sont dans quelques cas plus petites, ou au contraire plus grandes que ne le veut la loi de Dulong et Petit, on peut permettre une très grande latitude vis-à-vis de la distribution de l'énergie calorifique entre les divers degrés de liberté des atomes. Il n'est peut-être pas inutile de noter que les nombres donnés dans la colonne VI seraient plus grands s'ils étaient calculés pour une température supérieure à 0°, puisque ce fait suggère au moins une explication de l'accroissement général des chaleurs spécifiques des métaux lorsque la température s'élève. Il est très désirable que l'on parvienne à une connaissance plus exacte en ce qui concerne la vitesse de cet accroissement.

L'auteur ajoute que sans doute sa théorie de la conduction calorifique sera critiquée comme n'étant pas liée de quelque manière avec la loi de Wiedemann-Franz. Mais cette loi n'est en aucune façon exacte. D'après Jäger et Dienelhorgt le rapport (θ/k) varie, à 18°, de 6,36.10¹⁰ dans l'aluminium à 9,94.10¹⁰ dans le bismuth, tandis que le coefficient de température de ce rapport varie de 0,15 pour 100 pour le bismuth à 0,46 pour 100 pour le platine et le palladium. En tenant compte théoriquement des relations entre la conductivité thermique et électrique, on peut agir de deux façons : ou bien on peut considérer le mécanisme et la formule générale résultant de la loi de Wiedemann-Franz, et chercher à montrer pourquoi les métaux individuels s'en écartent ou, au contraire on peut aller de l'avant indépendamment de cette loi, mais finalement traiter chaque métal de façon à expliquer le fait qu'il se conforme plus ou moins exactement avec la loi. C'est la dernière méthode que l'auteur a employée.

L. B.

SECTION INDUSTRIELLE

Application de la traction électrique par courant monophasé sur le réseau de la Compagnie des Chemins de Fer de la Camargue

En raison de difficultés matérielles dans l'exploitation par traction à vapeur des lignes de Nîmes à Arles et de Nîmes à Saint-Gilles, la Compagnie des Chemins de fer de la Camargue s'est trouvée amenée à appliquer la traction électrique sur ces deux lignes. Le choix du courant monophasé 25 p : s avec une tension de 6 600 v est dû à des considérations d'ordre financier plutôt que techniques. On verra, par la lecture de cet article, l'énumération des nombreux avantages immédiats que la Compagnie a pu retirer de ce nouveau mode de traction.

La Compagnie des Chemins de fer de la Camargue a mis en service le 5 août 1920 la traction électrique sur ses deux lignes du Gard, de Nîmes à Arles-Trinquetaille et de Nîmes à Saint-Gilles.

La Compagnie exploite depuis 1892 un réseau de 125 km à voie de 1 m comprenant les deux lignes ci-dessus d'une longueur totale de 48 km situées dans le département du Gard et deux lignes de 38 km chacune situées dans le département des Bouches-du-Rhône, d'Arles au Salin-de-Giraud et d'Arles aux Saintes-Maries-de-la-Mer.

D'après les conventions de concessions, ces quatre lignes ont été établies pour être exploitées par traction à vapeur avec trois trains par jour dans chaque sens sur chaque ligne.

Dès les premières années de l'exploitation, la Compagnie eut à faire face à des difficultés d'exploitation particulières, dues à la situation géographique des lignes, notamment pour l'alimentation en eau des locomotives aux terminus des deux lignes de Camargue, Salin-de-Giraud et les Saintes-Maries, où l'on ne pouvait disposer que d'eau saumâtre. A Arles même, l'alimentation en eau qui est fournie par la ville, n'est pas très convenablement assurée. D'autre part, le recrutement du personnel de la traction, mécaniciens et chauffeurs n'était pas très facile. Enfin, il était reconnu que les trois trains par jour dans chaque sens n'étaient pas absolument suffisants pour desservir convenablement les populations tributaires du chemin de fer, et qu'il valait mieux remplacer les trois trains mixtes par des trains plus rapides pour les voyageurs, d'une part, et des trains lents spéciaux pour les marchandises, d'autre part. C'est pourquoi, dès 1903, la Compagnie mit à l'étude le projet de substituer la traction électrique à la traction à vapeur sur l'ensemble de son réseau.

Après avoir établi ses avant-projets, la Compagnie soumit les résultats de son étude aux deux départements intéressés, Bouche-du-Rhône et Gard.

Pour des considérations entièrement étrangères à la question technique et à l'exploitation, le département

des Bouches-du-Rhône, ne crut pas devoir accueillir favorablement à cette époque les propositions de la Compagnie.

Le département du Gard, au contraire, se rangea à l'avis de la Compagnie et par convention du 24 juin 1912 approuvée par la loi du 28 décembre 1912, celle-ci fut autorisée à entreprendre l'électrification de ses deux lignes de Nîmes à Arles et de Bouillargues à Saint-Gilles.

Le point principal de la convention du 24 juin 1912 était que le capital de premier établissement à engager pour cette électrification ne devrait pas dépasser 15 000 fr par kilomètre.

Il fallut donc chercher le système le moins coûteux, d'une exploitation facile, sans usine centrale, ni sous-stations de transformation.

Après avoir fait étudier complètement les systèmes adoptés sur d'autres réseaux, tant en France qu'à l'étranger, la Compagnie fixa son choix sur la traction par courant alternatif monophasé à haute tension.

Ce système put être envisagé grâce au grand réseau de distribution en courant alternatif triphasé 25 p : s que la Société Energie électrique du Littoral méditerranéen commençait à installer dans la région provençale. Un contrat fut passé en 1906 entre cette société et la Compagnie des Chemins de fer de la Camargue, pour la fourniture à cette dernière du courant monophasé 6 600 v, et qui devait être livré en gare d'Arles-Trinquetaille, au poste à haute tension de la Compagnie de la Camargue.

Ce ne sont donc pas des questions d'ordre purement technique, mais bien des considérations d'ordre économique et de possibilités locales qui ont guidé la Compagnie à adopter le courant monophasé à haute tension. Les contrats pour la réalisation de la traction électrique purent être passés avec les constructeurs en 1913, à savoir :

Un contrat pour la construction de la ligne aérienne;

Un contrat pour la fourniture des motrices et de

quelques voitures de remorque supplémentaires ; Un contrat pour les équipements électriques des motrices.

Bien que retardée par les hostilités, la construction fut néanmoins poursuivie pendant la guerre au prix de grandes difficultés, et c'est ainsi que la traction électrique put être mise en service régulier, comme nous l'indiquons au début de la présente note, le 5 août 1920.

Nous donnons sommairement ci-après la description technique de l'installation réalisée.

Les lignes électrifiées. — Les lignes électrifiées sont comprises dans le département du Gard (fig. 1).

1° La ligne de Nîmes à Arles-Trinquetaille d'une longueur de 32 km ;

2° La ligne de Bouillargues à Saint-Gilles d'une longueur de 15,200 km. Bien que cette ligne ait son origine à Bouillargues, elle est exploitée depuis Nîmes ;

3° Il est venu s'ajouter, depuis le 5 août 1920, un prolongement dans Nîmes, de la gare de la Camargue à la gare de la Compagnie des Chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, d'une longueur de 1,150 km.

PROFILS EN LONG. — La ligne de Nîmes à Arles (fig. 2) est en légère déclivité depuis Nîmes jusqu'au kilomètre 4, à Caissargues. Elle est en rampe de 12 mm : m

au maximum, du kilomètre 4 jusqu'au kilomètre 10. Du kilomètre 10 la voie est de nouveau en déclivité de 12 mm : m jusqu'au kilomètre 19 à Bellegarde. Du kilomètre 19 elle est en palier jusqu'au kilomètre 29,5, où elle franchit le pont du petit Rhône par une rampe de 12 mm : m. Ce pont est du type tubulaire métallique en trois travées et d'une longueur totale de 162 m.

Les courbes ont un rayon minimum de 300 m sauf à l'entrée de la gare de Nîmes où l'on trouve une courbe de 150 m.

La ligne de Saint-Gilles (fig. 3) qui a, comme nous l'avons dit, son origine à Bouillargues est en rampe jusqu'à Garons, au kilomètre 3, puis, son profil est variable jusqu'à Toupinet au kilomètre 8,2. Enfin elle est en pente de 12 mm : m jusqu'à Saint-Gilles au kilomètre 15,2. Les courbes ont un rayon minimum de 300 m.

LIGNE AÉRIENNE DE TRACTION. — La ligne est du type caténaire avec fil de travail à 6 m au-dessus des rails. Ce fil est en cuivre, de 50 mm² de section ; il est suspendu au câble caténaire tous les 3 m par des griffes et

des chainettes. Le câble caténaire est composé de 7 fils de 2,5 mm en acier galvanisé.

Les portées normales en alignement sont de 51 m.

La ligne est désaxée, dans les alignements, de 0,350 m à droite et à gauche de l'axe de la voie et tous les deux pylônes. En courbes (fig. 4), quel qu'en soit

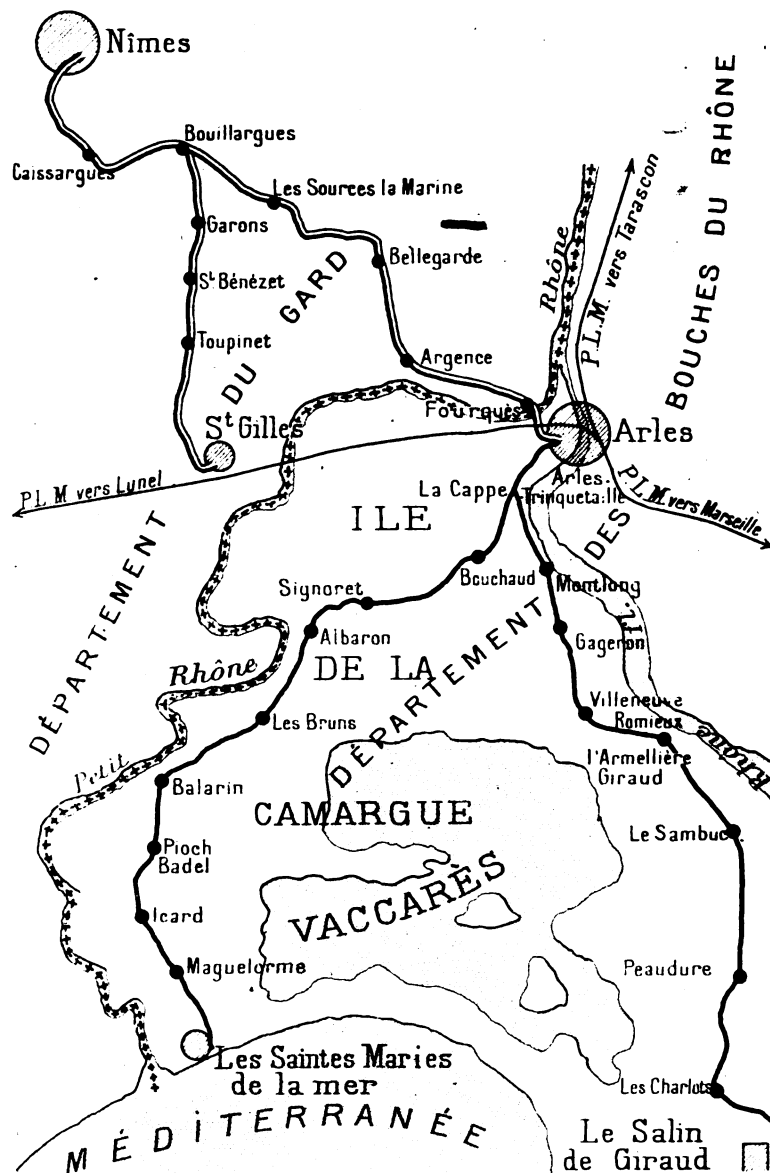


Fig. 1 — Carte du réseau de la Compagnie des chemins de fer de la Camargue.

Les lignes de Nîmes à Arles (32 km) et de Nîmes à Saint-Gilles (23,8 km), figurées par le double trait, sont à traction électrique.

le rayon, la flèche horizontale des portées est de 0,400 m. Pour la traversée du pont à membrure supérieure, le câble caténaire se prolonge sans interruption au-dessus de la membrure, comme on peut le voir sur la figure 5. La figure 6 représente l'équipement d'une gare.

Les pylônes ont 8 m de haut hors du sol et 1,50 m de fondation ; ils sont construits en béton armé et ont été moulés verticalement sur place.

Les consoles sont composées de 2 fers en U jumelés de 50 mm \times 25 mm \times 5 mm.

Les isolateurs de suspension de ligne sont à double

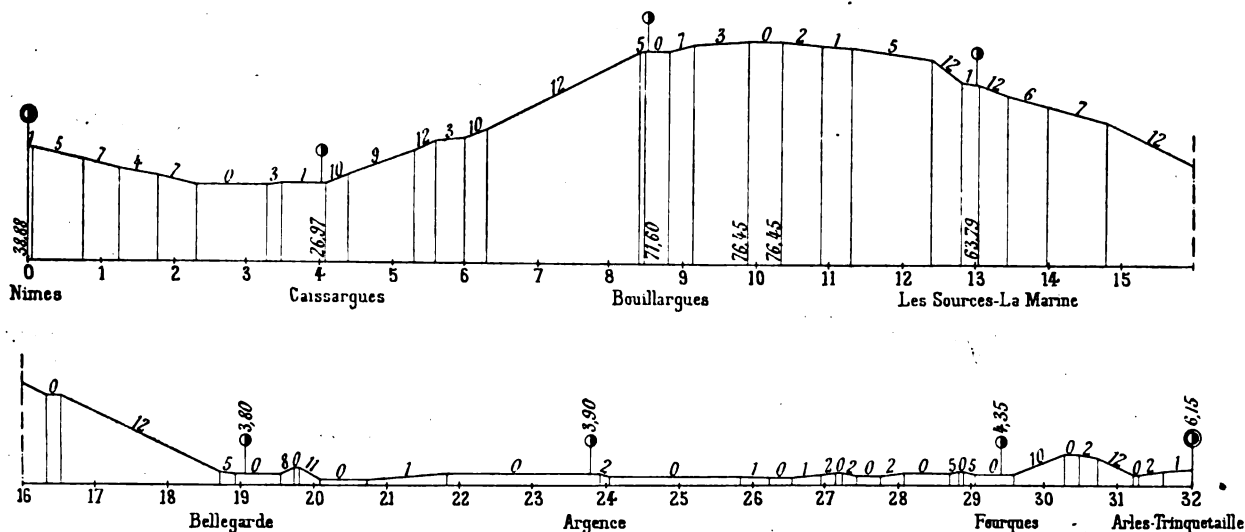


Fig. 2. — Profil en long de la ligne de Nîmes à Arles-Trinquetaille.

cloche de 140 mm de diamètre ; sur chaque pylône, se trouve un antibalancart fixé sur un isolateur semblable à celui qui supporte la ligne.

Dans toutes les stations intermédiaires, il a été prévu un poste de parafoudre et une coupure avec mise à la terre.

Il n'y a aucun appareil de dilatation ou de compensation, la ligne ayant été tirée avec une traction de

300 kg à la température de 15°C ; le réglage se fait deux fois par an, à l'entrée de l'hiver et de l'été, à l'aide de tendeurs à vis placés tous les kilomètres.

Il n'y a aucun feeder ni sous-station intermédiaire ; l'alimentation se fait à Arles-Trinquetaille.

Voie. — La voie, de 1 m d'écartement des rails, qui existait déjà et qui est partout sur plate-forme indépen-

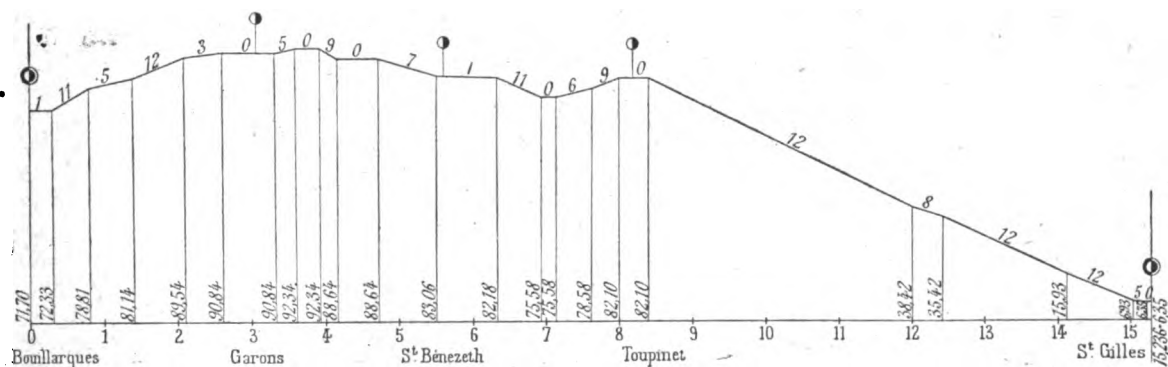


Fig. 3. — Profil en long de la ligne de Bouillargues à Saint-Gilles.

dante, n'a pas été modifiée. Elle est en rails Vignole de 20 kg par mètre, en barres de 12 m. Ces barres sont connectées électriquement entre elles avec des petits câbles souples de 30 mm² de section rivés sur les patins des rails. Tous les kilomètres, les rails de la voie sont mis à la terre par des plaques appropriées.

Les motrices électriques. — Les voitures motrices à deux boggies à deux essieux (fig. 7), ont les dimensions suivantes,

| | mètres |
|-----------------------------|--------|
| Longueur entre tampons..... | 11,500 |
| Id de la caisse..... | 10,500 |

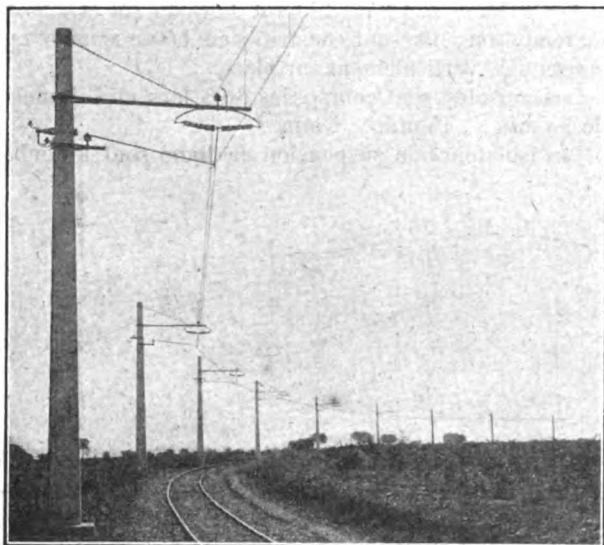


Fig. 4. — Vue de la ligne et de la suspension caténaire dans une courbe.

| | mètres |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Largeur aux marchepieds..... | 2,600 |
| Id hors caisse..... | 2,500 |
| Hauteur au-dessus des rails..... | 3,200 |
| Hauteur du tamponnement central et attelage à patinier à 2 crochets..... | 0,850 |
| Empattement des essieux d'un boggie..... | 2,100 |
| Distance entre pivots de boggies..... | 7,000 |
| Diamètre des roues motrices..... | 0,860 |
| Largeur des bandages..... | 0,125 |
| Calage des bandages..... | 0,930 |
| Fusées..... | 0,090 × 0,170 |

La caisse motrice comprend :

- Deux cabines de commande dont une à chaque extrémité ;
- Un compartiment de 2^e classe de 8 places ;
- Un compartiment de 1^{re} classe de 8 places ;
- Une plate-forme d'accès fermée ;
- Un compartiment à bagages.

La timonerie de frein actionne deux sabots par essieu, par l'air comprimé et par des appareils de manœuvre à vis installés dans chaque cabine de commande et dans le fourgon.

Les sifflets, les sablières et la prise de courant sont actionnés par l'air comprimé.

Le frein est semi-direct sur les motrices et automatique sur les remorques.

Le poids total d'une motrice, sans équipement électrique, mais y compris le frein à air complet est de 14 000 kg.

EQUIPEMENT ÉLECTRIQUE DES MOTRICES. — Chaque équipement, dont le schéma des connexions est représenté sur la figure 8, comprend :

Une prise de courant pantographe à archet et coupure, manœuvré par l'air comprimé, soit des cabines de commande, soit du fourgon à bagages ;

- Une entrée de courant en porcelaine avec bobine de self-induction, parafoudre à cornes et mise à la terre ;
- Un disjoncteur automatique pour haute tension ;
- Un coupe-circuit fusible pour haute tension ;
- Une bobine de couplage à haute tension ;
- Un relais de déclenchement à maximum ;
- Un transformateur de traction 6 600 v, avec bornes multiples sur basse tension pour graduation de l'effort et de la vitesse des moteurs ;
- Deux coupleurs à soufflage magnétique et inversion de marche pour la conduite des trains ;
- Quatre boîtes de coupures et fusibles pour les moteurs ;
- Quatre moteurs de traction à courant monophasé 25 p. s., à collecteur, série compensé, d'une puissance uni-horaire de 75 ch ;
- Un tableau des services auxiliaires (éclairage, chauffage, sonneries, interrupteurs, etc.) ;
- Tous les conducteurs reliant les appareils entre eux ;
- Un compresseur d'air, à moteur monophasé de 5 kw ;
- Un régulateur d'air J. 14 pour mise en marche et arrêt automatique du compresseur ;
- Une pompe de secours, à la main, pour la prise de courant.

La compagnie a, en outre, fait installer sur chaque motrice : 1° un appareil téléphonique portatif avec fils et accessoires d'accrochage sur ligne pour communiquer en cours de route avec la gare d'Arles en cas de détresse ;

2° Des appareils extincteurs « Pyrène », en cas d'incendie.

Les moteurs sont à simple réduction d'engrenage dans le rapport 4,038 ; ils pèsent chacun 1 600 kg, et sont montés dans le châssis du boggie comme le montre la figure 9.

Le transformateur pèse avec son huile, 2 450 kg.

Un équipement complet pèse 11 300 kg en sorte qu'une motrice en ordre de marche, y compris voyageurs, personnel et chargement, pèse 27 t.

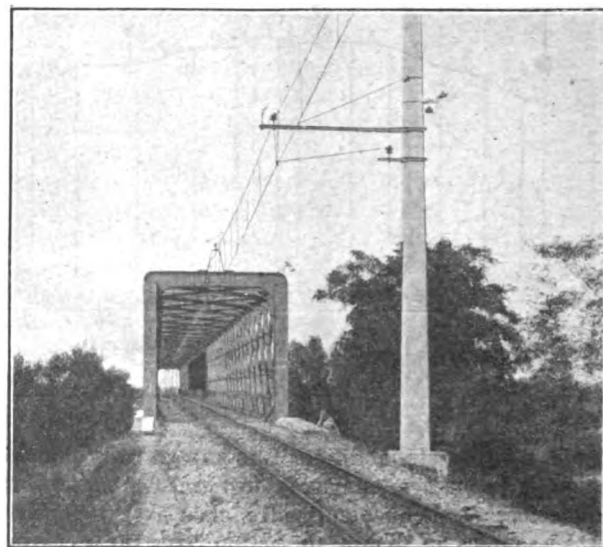


Fig. 5. — Passage de pont à membrure supérieure.

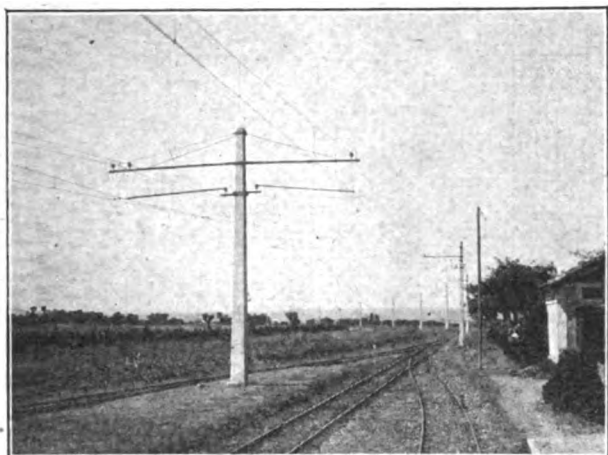


Fig. 6. — Equipement d'une gare.

Fonctionnement général de l'installation. —

Le courant monophasé est fourni à 6600 v sans transformation par la Société l'Énergie électrique du Littoral méditerranéen aux bornes d'un tableau de livraison muni de compteurs, voltmètre, disjoncteurs, etc. (fig. 10).

De ce tableau, l'énergie est envoyée directement à 6600 v sur la ligne de traction en passant par des tableaux de coupure à disjoncteurs (fig. 11).

Tous ces tableaux sont installés au premier étage d'un poste d'arrivée construit par la Compagnie de la Camargue dans sa gare d'Arles-Trinquetaille.

Au rez-de-chaussée de ce poste se trouvent des transformateurs de 50 kv-A, abaissant la tension de 6600 à 120 v pour les services des ateliers et de l'éclairage des bâtiments de la gare et des voies.

L'une des bornes du circuit de livraison est reliée à la ligne aérienne de traction et l'autre est reliée à la voie, laquelle est mise à la terre spécialement dans le poste.

La ligne de traction est donc alimentée directement à 6600 v à Arles-Trinquetaille et ne possède aucun feeder ni aucun poste intermédiaire en cours de route.

Le courant à la tension de 6600 v entre dans les motrices par la prise de courant, réglée à 4 kg : cm² de pression sur la ligne, descend dans une cabine de haute tension réservée dans le compartiment-fourgon, passe par le disjoncteur, le coupe-circuit et entre dans le transformateur par une borne fortement isolée dans une coupole en fonte. L'autre borne dite « zéro » est connectée à la masse du châssis métallique de la motrice, qui lui-même est relié naturellement à la voie par les boggies et les roues motrices.

La porte de la cabine de haute tension ne peut s'ouvrir qu'en ouvrant en même temps un robinet d'évacuation d'air, manœuvre qui provoque la coupure du courant entre la prise de courant et le disjoncteur et qui fait en même temps descendre la prise de courant. La prise de courant ne peut reprendre contact avec la

ligne aérienne, qu'autant que la porte de la cabine est fermée et verrouillée.

La manœuvre de la prise de courant peut se faire également à l'aide des robinets d'air existant dans les cabines de commande.

Le circuit à haute tension est ainsi constitué par la ligne, la prise de courant, le transformateur et la voie, tandis que le circuit à basse tension alimentant les moteurs est localisé sur la motrice.

Sur le circuit à basse tension du transformateur, on dispose d'une série de bornes permettant d'obtenir des tensions de : 76, 100, 125, 180, 238, 276, 315, 350 et 400 volts. Tous les moteurs marchent en parallèle, le courant qui leur est envoyé par les coupleurs est toujours pris sur deux bornes consécutives du transformateur, soit par exemple : 125 v et 180 v, 180 v et 238 v, etc., et sur six plots différents des coupleurs.

Les deux tensions considérées correspondant à un plot quelconque des coupleurs sont envoyées d'abord aux deux bornes d'extrémité de la bobine de couplage et c'est d'une borne prévue au milieu des enroulements de cette bobine que le courant sort pour passer ensuite dans les moteurs de traction après avoir passé dans le solénoïde du relais à maximum.

La borne « zéro » des moteurs étant reliée à la masse du châssis, comme celle du transformateur, le circuit à basse tension se ferme donc sur ce dernier pour chaque touche du coupleur.

La compensation des moteurs n'agit qu'après connexion des bornes 3 et 4 du transformateur sur la bobine de couplage par la touche 1 des coupleurs, mais elle devient permanente pour toutes les autres touches.

La tension dans les moteurs varie donc de 150 v à 370 v au maximum pour 6600 v en ligne.

La vitesse transmise aux trains peut atteindre 55 à 60 km : h.

L'effort de traction au démarrage est de 4000 kg.

Exploitation. — Actuellement les lignes électrifiées sont exploitées chacune en navette par 4 trains dans

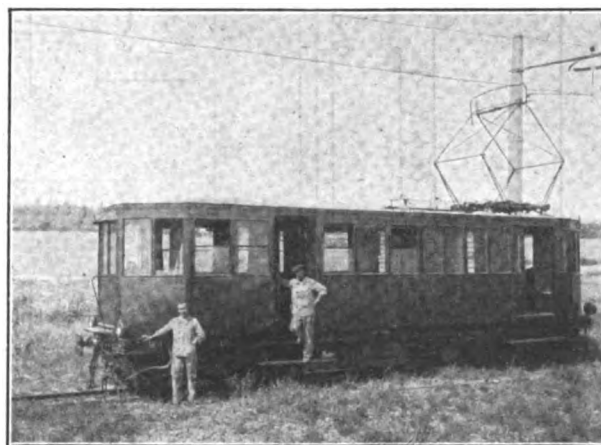


Fig. 7. — Vue d'une voiture motrice.

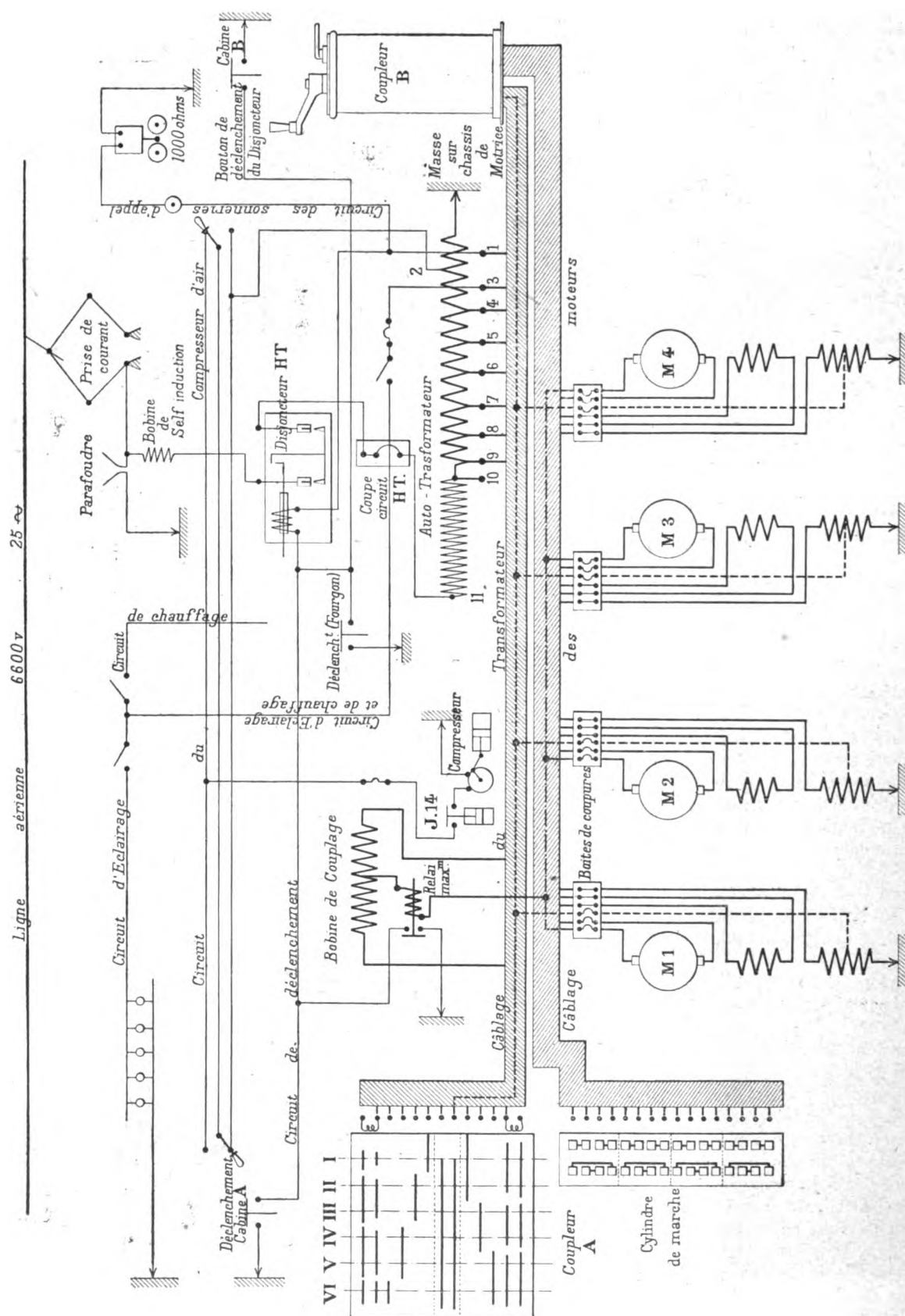


Fig. 8. — Schéma de l'équipement électrique d'une motrice pour courant monophasé, 6600 v, 25 p : s, 4 moteurs de 70 ch.

chaque sens, en sorte qu'il n'y a toujours que 2 trains en même temps sur la ligne.

Ces trains, qui pèsent normalement 65 t chacun, n'absorbent ensemble qu'une puissance instantanée moyenne de 165 kw, et de 320 kw en pointe au démarrage.

Dans ces conditions de charge relativement faibles, le facteur de puissance moyen aux bornes du tableau de livraison est de 0,72 à 0,74.

Les motrices peuvent aisément remorquer des trains de 150 t en rampe de 12 mm : m à la vitesse de 35 km : h.

Les trains normaux de 65 t marchent actuellement, en palier, à la vitesse de 45 km : h, mais cette vitesse pourra être augmentée, lorsque la voie aura pu subir toutes les réfections nécessaires.

Avantages procurés par la traction électrique.

— Quels sont les avantages immédiats que la Compa-

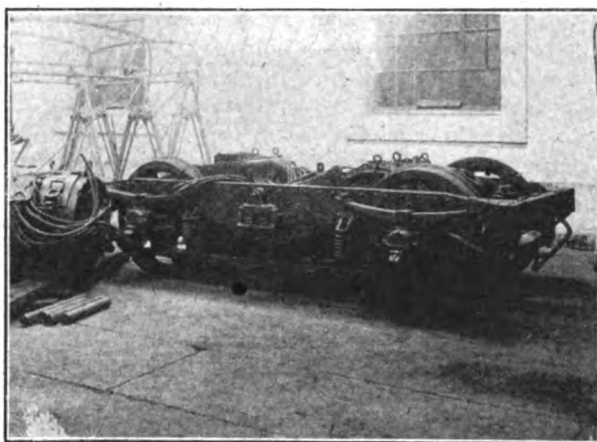


Fig. 9. — Vue d'un boggie muni de ses deux moteurs de 70 ch.

gnie a pu retirer de ce nouveau mode de traction? .

1° Avec le même personnel, la Compagnie a pu porter de 2 à 4, sur la ligne de Nîmes à Saint-Gilles, et de 3 à 4 sur la ligne de Nîmes à Arles, le nombre de ses trains, soit donc un gain total de 6 trains par jour; ceci, grâce à la meilleure utilisation du personnel par la suppression du temps nécessaire à l'alimentation et à la mise en pression des chaudières des locomotives au départ et la

tombée des feux et réalimentation à l'arrivée ;

2° Un seul homme conduit le train; le receveur ou chef de train, au courant également de la conduite des motrices, peut le remplacer en cas de besoin, en cours de route, notamment en cas d'indisposition ;

3° Formation très facile du personnel de conduite des motrices ;

4° Plus grande sécurité dans la conduite des trains : le mécanicien placé à l'avant de la motrice dans une

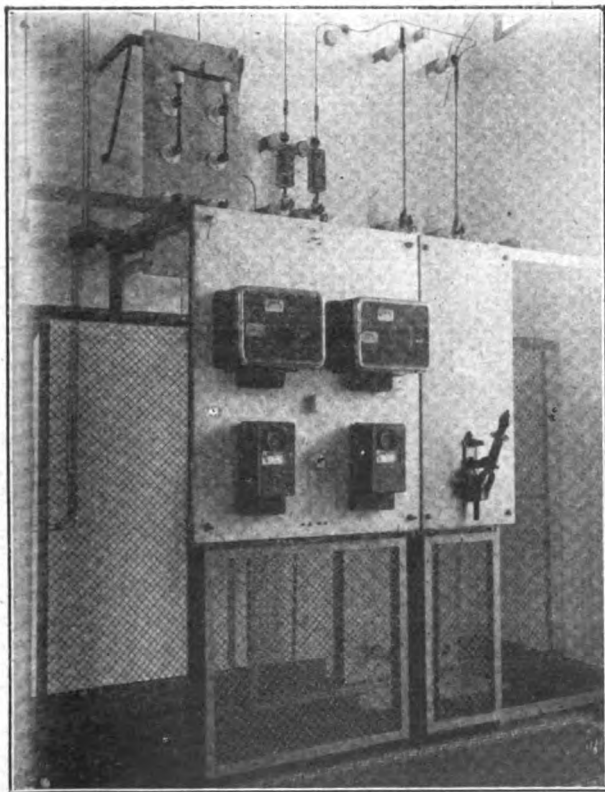


Fig. 10. — Vue du tableau de comptage à l'arrivée.

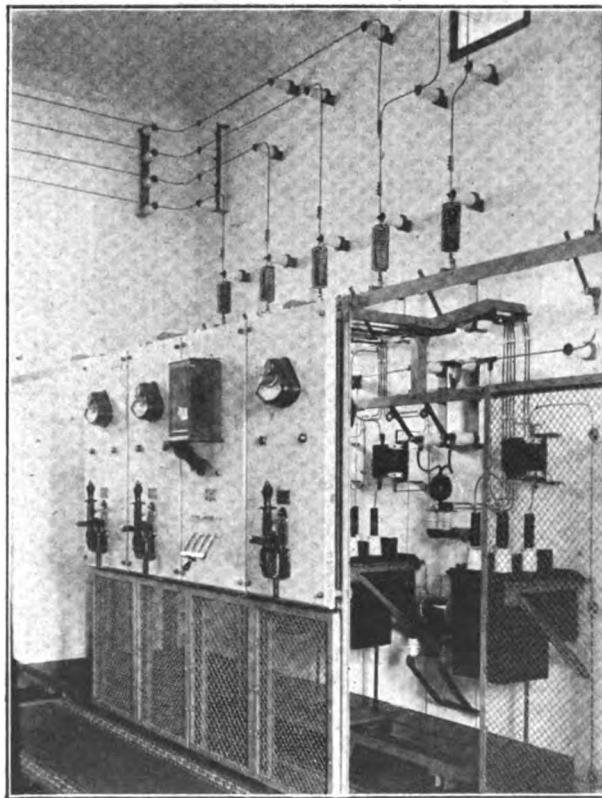


Fig. 11. — Vue des tableaux de départs.

cabine vitrée de tous côtés, a une vue très dégagée ; d'autre part, la manœuvre de ses manettes pouvant être faite sans les regarder, toute son attention peut se porter sur la voie et ses abords, considération particulièrement importante pour les réseaux secondaires

1 heure 5 minutes, mais lorsque la voie aura été améliorée, cette durée du parcours pourra être amené à 50 minutes comme le prévoit la convention du 24 juin 1912).

7° Amélioration sensible du confort des trains grâce à l'éclairage et au chauffage électrique ;

8° Suppression des incendies de récoltes et d'arbres fruitiers le long des lignes, particulièrement fréquents et importants dans ces régions, qui entraînaient chaque année le paiement d'indemnités fort élevées ;

9° En cas de détresse d'un train, facilité d'envoyer immédiatement une motrice à son secours, sans être obligé d'attendre, comme pour les locomotives à vapeur d'avoir une pression suffisante, ce qui demande souvent quarante-cinq minutes à une heure ;

10° Suppression des équipes de lampistes et de chauffage de bouillottes aux gares terminus ;

11° Le matériel remorqué subit moins de détérioration par suite de l'absence de fumée et de poussières charbonneuses ;

12° Diminution sensible des frais de traction, la motrice électrique ne consommant que quand elle est en marche. Pendant les arrêts soit en cours de route, soit aux terminus, la consommation est presque nulle, se réduisant seulement aux services accessoires des trains. Tandis qu'avec les locomotives, la combustion du charbon continue ;

13° Économie très sensible sur le graissage des organes moteurs (consommation journalière de 1 kg par jour pour l'ensemble des 16 trains, soit 448 km de parcours ;

14° Possibilité de banaliser les motrices électriques, pratique difficilement applicable aux locomotives à vapeur ;

15° Poids moindre des organes tracteurs. Une motrice de 300 ch ne pèse que 27 t, tandis qu'une locomotive de 150 ch pèse 25,5 t. Le poids par cheval électrique effectif n'est donc que de 90 kg, tandis que le poids par cheval vapeur est de 170 kg, d'où, à puissance égale, une fatigue moindre de la voie, d'autant plus que les motrices sont portées

par 4 essieux tandis que les locomotives Camargue sont portées par 3 essieux ;

16° La traction électrique a pu permettre à la compagnie d'envisager l'exécution de prolongements pénétrant dans l'intérieur des villes de Nîmes et d'Arles et conduire ainsi les voyageurs dans le centre des agglomérations. Le prolongement dans Nîmes est actuelle-

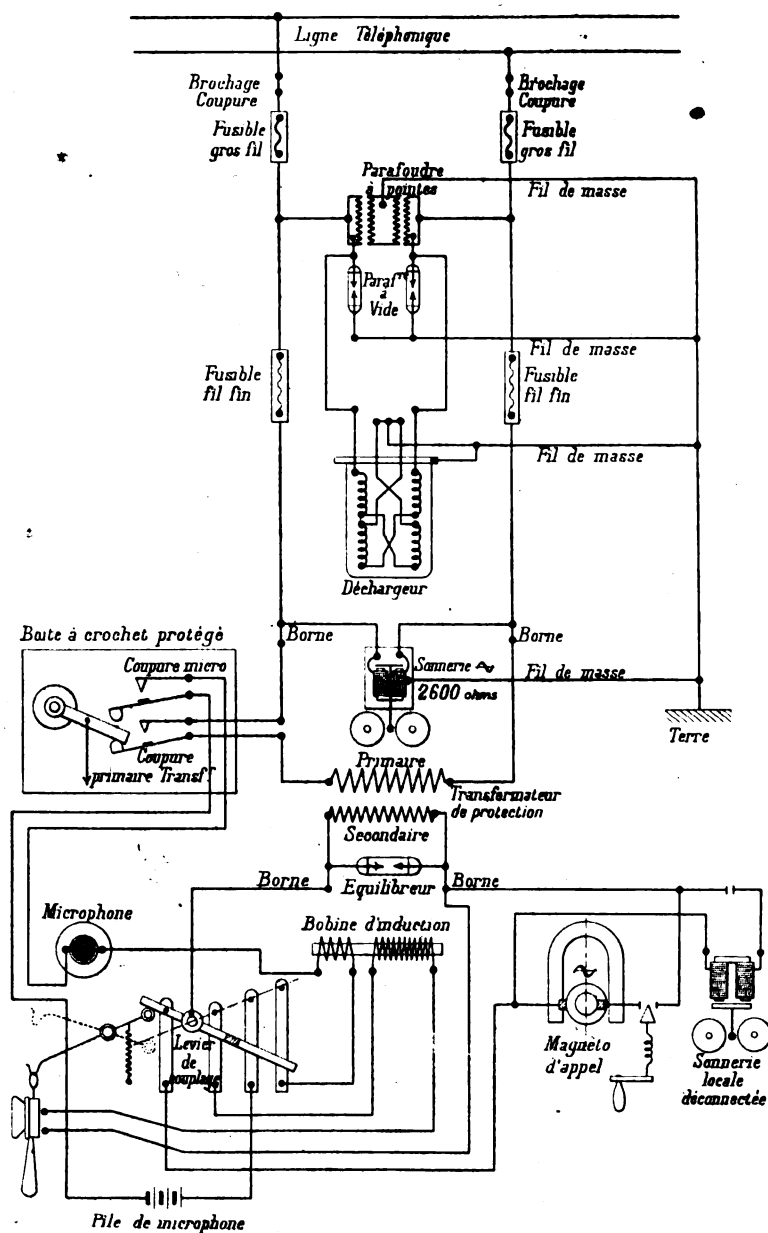


Fig. 12. — Schéma d'un poste simple téléphonique avec tableau de protection.

dont les emprises ne sont pas clôturées et la plupart des passages à niveau, non gardés ;

5° Service plus doux pour le mécanicien ;

6° Réduction du temps de parcours des trains de 10 minutes sur la ligne de Nîmes à Saint-Gilles et de 15 minutes sur la ligne de Nîmes à Arles ;

(Actuellement le parcours Nîmes-Arles est effectué en

ment exécuté et mis en service; quant à celui d'Arles, les projets d'exécution sont actuellement soumis à l'approbation de l'administration. Ces prolongements amèneront sûrement un accroissement du trafic des voyageurs.

Nous pourrions continuer encore cette énumération des avantages procurés par la traction électrique (suppression de l'alimentation en eau aux terminus, suppression des pares à charbon, suppression du lavage des chaudières, diminution de l'importance des impôts, etc., etc.)

Nous ne croyons pas utile de le faire, car le but de la présente note était de faire ressortir, d'après une application récente, les avantages considérables que peuvent retirer les compagnies de chemins de fer d'intérêt local de la substitution de la traction électrique à la traction à vapeur.

Quant au choix du type de courant à adopter, de nombreuses études très documentées ont été publiées dans ces derniers temps à ce sujet; nous ne croyons donc pas utile d'examiner ici cette question, mais nous pensons que, souvent, comme dans le cas présent, ce seront des considérations d'ordre financier ou autres qui guideront dans ce choix.

Quoi qu'il en soit, en ce qui concerne l'adaptation du courant monophasé, la Compagnie des Chemins de

fer de la Camargue en est très satisfaite jusqu'à présent. Ajoutons à ce sujet que la compagnie a pu éviter les inconvénients dus à la présence des fils téléphoniques et télégraphiques de l'État le long des voies, car le service des Postes, Télégraphes et Téléphones a accepté de retirer, aux frais de la Compagnie bien entendu, les lignes qui avaient été posées antérieurement sur la plate-forme, pour les placer sur des routes assez éloignées des lignes d'énergie.

En ce qui concerne les lignes téléphoniques de service de la compagnie, elles sont posées sur les mêmes pylônes que la ligne de traction, les deux conducteurs sont anti-inductés en tournant autour de l'un à l'autre à chaque pylône. Les postes téléphoniques sont protégés par des coupures automatiques, des transformateurs, des fusibles et des parafoudres à pointes et à vide, ainsi que par des équilibres de potentiel, comme le montre le schéma de la figure 12. Enfin, tous les 10 km environ, on a prévu des bobines de décharge.

Le léger bruit que l'on entend dans les écouteurs ne gêne nullement les communications et ajoutons enfin que, jusqu'ici, malgré les violents orages subis, la compagnie n'a eu à enregistrer aucun accident.

J. REYVAL.

Notes sur la mesure des vitesses de rupture dans les interrupteurs à huile

Théorie et description d'un dispositif simple permettant de déterminer, à chaque instant de sa course, la vitesse de rupture d'un interrupteur dans l'huile. Résultats obtenus sur certains appareils de construction courante.

La question des interrupteurs à huile est plus que jamais à l'ordre du jour et de nombreux efforts ont été faits pendant ces dernières années en vue d'une détermination aussi approchée que possible de la capacité de rupture de ces appareils.

Diverses formules ont été proposées et sont utilisées actuellement avec plus ou moins de succès.

On est généralement d'accord pour considérer les grandeurs suivantes comme les principales variables dont dépend la capacité de rupture :

- La tension de service ;
- Le nombre de ruptures par phase ;
- La longueur de rupture ;
- La forme des contacts ;
- La distance des contacts à la masse ;
- La hauteur d'huile au-dessus du point de séparation des contacts ;

Et, enfin, la vitesse de séparation des contacts.

La plupart de ces grandeurs sont faciles à déterminer. Seule la vitesse de séparation des contacts est d'une mesure plus délicate.

Et à ce sujet, nous avons été à plusieurs reprises très vivement étonnés par les nombres, d'apparence fantaisiste, donnés cependant par de très anciens spécialistes en la matière qui sembleraient mieux que tous autres devoir être à l'abri de semblables approximations.

C'est pourquoi, nous nous permettons d'indiquer, à toutes fins utiles, et sans aucune prétention, une méthode de mesure de ces vitesses, très simple et peu connue cependant, que nous appliquons tous les jours plusieurs fois.

Un tambour métallique S de diamètre connu est vissé en bout de l'arbre de commande des contacts mobiles de l'interrupteur (fig. 1.)

Le style d'un diapason excité électriquement permet l'inscription des temps sur ce tambour pendant la rupture.

On peut également employer un style en fer et une feuille de papier imprégnée d'une solution de ferrocyanure de potassium et d'azotate d'ammonium soumise à une différence de potentiel alternative, de fré-

quence connue et d'environ 30 v entre le tambour et le style.

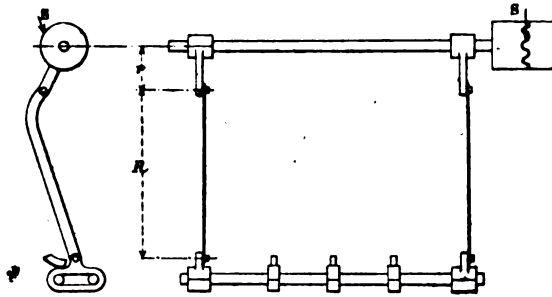


Fig. 1.

On relève alors sur cette feuille des traits bleus espacés, la longueur d'un trait et d'un espace représente une période.

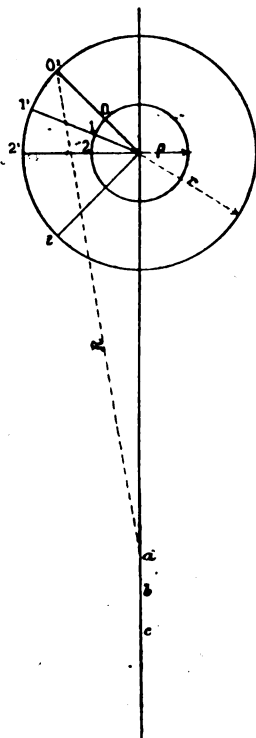
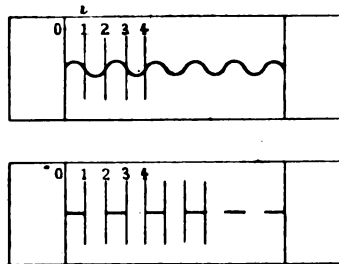


Fig. 2.

Connaissant les rayons r et R de la manivelle et de la bielle commandant les contacts, on en déduit par un

diagramme très simple la position des contacts et leur vitesse à chaque instant.

Soit f la fréquence du diapason ou du courant, n le nombre total des vibrations doubles ou des périodes enregistrées sur la feuille recouvrant le tambour, l la course des contacts, on a tout d'abord la vitesse moyenne :

$$V_m = \frac{lf}{n}.$$

Puis on établira le diagramme représenté ci-contre (fig. 2) : deux circonférences concentriques de rayons p (tambour) et r (manivelle) ; en o la position initiale de la manivelle (enclanchée) ; en 1, 2, 3, 4 sur la petite circonférence, les points 1, 2, 3, 4 relevés sur le tambour ; en 1', 2', 3', 4' les positions correspondantes du bouton de manivelle.

Enfin, des arcs de cercle de rayon R (bielle) et de centres 1', 2', 3', 4', donnent la position des contacts à chaque instant, en a, b, c.

Les vecteurs a, b, c, d, donnent les ordonnées de

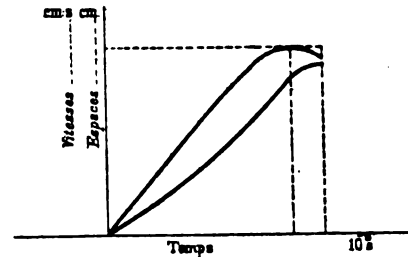


Fig. 3.

la courbe des espaces x en fonction du temps, $x = f(t)$ (fig. 3).

Les tangentes à cette courbe donneront les ordonnées de la courbe des vitesses $v = f'(t)$.

Pour plus de commodité, on peut porter les abscisses t en centièmes de seconde.

A titre d'indications, nous nous permettons de donner les vitesses de rupture relevées par cette méthode sur les appareils normaux construits par les Etablissements Merlin et Gérin (rupture accélérée par 4 ressorts) (fig. 4).

| | | |
|-------------------------|------------------|-------------|
| Type I, II, III. | Vitesse maximum. | 1,15 cm : s |
| 6 000, 15 000, 30 000 v | moyenne.. | 1,05 id |
| Type IV. | maximum. | 1,25 id |
| 50 000 v | moyenne.. | 1,15 id |
| Type V. | maximum. | 1,50 id |
| 70 000 v | moyenne.. | 1,30 id |

Ces nombres avoisinent la limite supérieure de ceux préconisés par l'A. S. E. Obtenus en diminuant très fortement l'inertie des pièces en mouvement, ils représentent un maximum pour les appareils à rupture normale (sans pare-étincelles à rappel brusque) :

Les résultats obtenus dans la pratique ont du reste confirmé le choix de ces nombres :

La méthode ci-dessus s'applique, avec de très légères variantes, au cas de tous les interrupteurs où la vitesse

de rupture est celle des contacts mobiles eux-mêmes. Seuls les appareils munis de pare-étincelles à rappel brusque échappent à cette détermination.

Mais ces derniers appareils sont l'exception, ce qui



Fig. 4.

s'explique par le peu d'intérêt que présente l'augmentation de vitesse, à partir d'une certaine limite ⁽¹⁾ en

⁽¹⁾ On sait que le temps de course des contacts en fonction de la vitesse moyenne V_m , pour une longueur de course l , $t = \frac{l}{V_m}$ varie suivant une hyperbole.

Au delà d'une certaine limite, une très grande augmentation de vitesse diminue très peu le temps de rupture. La limite intéressante varie bien entendu avec la longueur de course.

Ex : Soit (fig. 5) la courbe $t = f(V_m)$ établie pour une course de 100 mm.

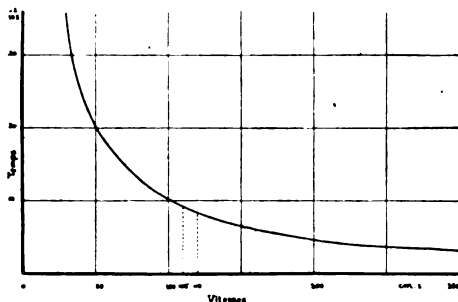


Fig. 5.

On voit qu'au delà de 105 à 110 cm/s, il est peu avantageux d'augmenter la vitesse.

Car la faible diminution du facteur $\frac{1}{V_m}$ qui entre dans les

regard des inconvénients pratiques inhérents à l'emploi d'organes aussi délicats.

Ces inconvénients sont d'ordres divers :

1° La réalisation de ces pare-étincelles est compliquée au point de vue mécanique, si l'on veut obtenir une solidité suffisante ;

2° La vitesse trop grande de tels organes dans un fluide aussi visqueux que l'huile provoque fatalement à l'arrière du pare-étincelles en mouvement une zone de dépression et de remous dont le milieu composant est caractérisé par une rigidité diélectrique bien inférieure à celle de l'huile.

Cette zone est éminemment favorable au réamorçage des arcs, par suite à la détérioration rapide du pare-étincelle et même à des accidents plus graves.

Les objections, dont la seconde est de beaucoup la plus sérieuse, mises en balance avec la modeste augmen-

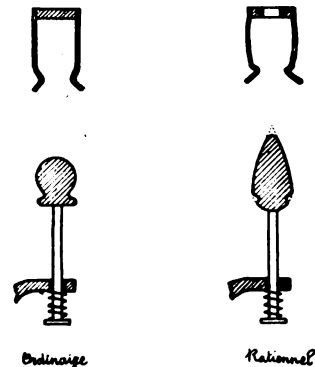


Fig. 7.

tation de capacité de rupture résultant de l'emploi des pare-étincelles à ressorts actuels en font un dispositif plutôt désavantageux.

Toutefois, si l'on arrivait à élucider la deuxième objection (existence d'une zone de dépression) la question prendrait un autre aspect.

formules donnant le travail dégagé par la rupture n'entraîne qu'une diminution proportionnelle de ce travail, lequel régit le dimensionnement de l'appareil.

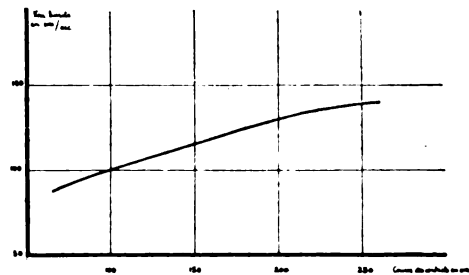


Fig. 6.

En traçant les courbes :

$t = f(V_m)$ pour diverses longueurs de course on peut en déduire approximativement une nouvelle courbe :

Vitesse moyenne intéressante en fonction de la course des contacts (fig. 6).

Or, les pares-étincelles actuels présentent à un très haut degré l'inconvénient précité parce que leurs formes ont été étudiées au seul point de vue du fonctionnement mécanique et des facilités de construction.

Pour devenir intéressants, nous pensons que ces organes devraient être étudiés également au point de vue de la résistance à l'avancement et de la dépression créée par leur déplacement axial dans un fluide.

Ces deux quantités étroitement liées l'une à l'autre peuvent être réduites dans d'énormes proportions par des profils judicieusement appropriés.

Le meilleur exemple en est l'évolution des fuselages d'avions et des projectiles d'artillerie.

Les travaux du regretté colonel Renard et la justification de ses théories par ses expériences sur des blocs de glace placés dans un courant d'eau ont été le point de départ de ces tendances et les profils optima à adopter sont aujourd'hui bien connus.

Rien n'empêche de les appliquer aux pare-étincelles à rappel brusque. Une forme telle que celle figurée, tout en s'écartant très peu de la meilleure forme théorique (représentée en pointillé) ne provoquerait entre les pare-étincelles fixe et mobile qu'une dépression insignifiante par suite du déplacement rationnel des filets d'huile.

Sans aller jusqu'à espérer pouvoir créer par un profil approprié une zone de surpression autour des arcs de rupture (comme l'avait soutenu, pour les solides immergés dans l'air, un des plus étranges visionnaires de l'aérodynamique, ce qui aurait évidemment d'énormes avantages) nous sommes persuadés de l'intérêt d'une telle amélioration et nous réservons de l'appliquer dans certaines études en cours.

G. LONGER.

Cahier des charges pour la fourniture des isolateurs à cloche en porcelaine ou en verre

Établi par l'Union des Syndicats de l'Électricité

Nous donnons ci-dessous le texte du cahier des charges établi par la quatorzième Commission de l'Union des Syndicats de l'Électricité et adopté, le 7 décembre 1921, par le Comité de Direction de cette Union pour remplacer les prescriptions établies par une commission mixte formée de délégués de la Société internationale des Electriciens et de l'Union des Syndicats de l'Électricité, prescriptions qui ont été publiées dans la « Revue générale de l'Électricité » du 24 février 1917, p. 306 à 308, à la suite d'un article de M. Picou, président de la Commission, où celui-ci commentait les principaux points du texte.

L'Union des Syndicats de l'Électricité avait établi en 1917, de concert avec le Comité électrotechnique français, des conditions techniques pour les isolateurs de lignes aériennes.

Depuis lors, la Commission électrotechnique internationale, dans sa session de Bruxelles en mars 1920 (1), a posé quelques principes directeurs en vue d'arriver à une unification internationale des isolateurs. Afin de conformer autant que possible le règlement français à ces principes et de faciliter ainsi les relations internationales, la quatorzième Commission de l'Union des Syndicats de l'Électricité a fait adopter par le Comité de Direction de l'Union, le 7 décembre 1921, un nouveau cahier des charges que nous publions ci-dessous et à l'élaboration duquel ont présidé les idées suivantes :

1° On a fait disparaître les prescriptions concernant les dimensions à donner aux isolateurs, car, si elles ont eu l'effet utile d'élaguer les catalogues, elles n'ont

plus maintenant de raison d'être, et il est sage de rendre aux fabricants toute liberté de perfectionner leurs produits. La disparition de ces prescriptions a entraîné la disparition de la liste des efforts mécaniques que devaient supporter les isolateurs et cette liste a été remplacée par la simple prescription que l'isolateur doit résister plus que sa ferrure à ces efforts.

2° Un isolateur n'est plus défini par la tension électrique de la ligne qu'il doit soutenir, mais bien par la tension d'épreuve qu'il peut supporter. Il est, en effet, logique de laisser au constructeur d'une ligne le soin d'apprécier le coefficient de sécurité dont il a besoin. Il pourra ainsi prendre un coefficient de sécurité croissant avec l'importance de la ligne et des dépenses à y consacrer.

3° On a supprimé les prescriptions concernant les ferrures. La quatorzième Commission de l'Union des Syndicats de l'Électricité se préoccupe actuellement de déterminer les conditions qui pourraient présider à l'unification de celles-ci.

(1) R. G. E., 10 avril 1920, t. VII, p. 481-482.

Cahier des charges

A. Isolateurs en porcelaine.

OBSERVATION PRÉLIMINAIRE. — Les présentes conditions ne font pas obstacle à l'établissement de conditions différentes arrêtées par convention entre les parties intéressées; elles sont applicables à défaut de stipulations contraires.

Caractéristiques des isolateurs. — 1. Les isolateurs sont définis par leurs propriétés caractéristiques électriques.

Ces caractéristiques sont :

La tension d'éclatement à sec;

La tension d'éclatement sous pluie;

La tension de perforation.

Par *éclatement*, on entend la formation d'un arc franc de teinte jaune, qui correspond à une augmentation brusque et maintenue (jusqu'à disjonction) de la puissance, arc dont l'apparition soudaine suit généralement l'apparition graduelle des effluves et des étincelles crépitantes de teinte bleue.

Par *perforation*, on entend le passage de l'arc au travers de la porcelaine, établissant un courant d'une intensité suffisante pour produire une forte chute de tension du transformateur d'essai.

OBSERVATION. — Un fragment détaché du bord de l'une des cloches, sous l'action de la chaleur d'un arc contournant l'isolateur, n'est pas considéré comme une perforation.

2. La tension d'emploi ne dépend que du choix de celui qui fait usage de l'isolateur. Le facteur de sécurité qu'il entend obtenir lui permet de déduire cette tension des valeurs caractéristiques définies ci-dessus.

3. Toutes ces tensions sont exprimées en valeurs efficaces.

Elles doivent être de fréquences industrielles et de forme pratiquement sinusoïdale, forme définie dans la réglementation particulière aux machines (1).

Conditions de fabrication. — 4. La porcelaine d'un isolateur doit être homogène et sa cuisson complète. Par ces mots, il faut entendre que l'isolateur ne doit présenter aucune porosité. En cas de contestation sur ce point, et en raison de l'insuffisance démontrée de tous les procédés sommaires d'investigation, tels que les taches d'encre ou de produits colorés, l'essai de porosité sera exécuté dans un laboratoire d'essais physiques ayant un caractère officiel, tel que le laboratoire du Conservatoire des Arts et Métiers ou tout autre disposant de moyens d'expérience analogues.

5. La porcelaine est recouverte d'un émail, coloré ou non, sur toutes ses parties, sauf celles qui servent d'appui pendant la cuisson. Les parties destinées au scellement peuvent être émaillées ou non. Elles peuvent être striées, rainées, taraudées, molletées ou munies, par tout autre

(1) Rappelons que l'alinéa 11 du paragraphe IV des Règles françaises d'unification des machines électriques, établies par l'Union des Syndicats de l'Électricité et le Comité électrotechnique français, est ainsi libellé :

« *Forme d'onde.* — Coefficient de déformation. — La forme d'onde idéale de la force électromotrice d'un alternateur est la sinusoïde; les formes réalisables s'en écartent plus ou moins.

» La sinusoïde équivalente à une forme donnée est celle qui possède la même valeur efficace. Superposée à la forme réelle, elle accuse des différences d'ordonnées. Le maximum de ces différences rapporté à l'ordonnée maximum de la sinusoïde, est le coefficient de déformation.

» Une forme dont le coefficient de déformation est inférieur à 0,05 est considérée comme pratiquement sinusoïdale ».

moyen, d'aspérités propres à assurer un bon scellement.

6. Les dimensions des pièces seront conformes aux cotes du dessin du type, sauf les tolérances de 5 pour 100 sur les dimensions inférieures à 20 mm et de 3 pour 100 sur les dimensions supérieures.

Essais des isolateurs. — 7. Les essais des isolateurs se divisent en deux catégories, savoir :

Première catégorie. — Essais de type destinés à éclairer l'exploitant sur la valeur du type choisi, en ce qui concerne sa résistance dans les conditions qu'il peut avoir à subir.

Deuxième catégorie. — Essais de réception de pièces destinées à éprouver, avant leur mise en place, tous les isolateurs qui font partie d'une fourniture.

8. **ESSAIS DE TYPE.** — Ces essais portent au minimum sur cinq pièces et au maximum sur 2 pour 1000 de la quantité commandée. Les pièces sont prises au hasard dans un lot et subissent toutes, toutes les épreuves dans l'ordre indiqué (1). Ces essais portent sur les points suivants :

Effet des variations de température;

Épreuves de résistance mécanique;

Épreuves de tension à sec;

Épreuve de tension sous pluie;

Épreuve de perforation.

Pour tous les essais, les isolateurs sont montés sur leurs ferrures normales dans les conditions d'emploi.

9. *Essai de température* (2). — Les isolateurs montés sur leurs ferrures sont échauffés par immersion dans un bain d'eau maintenue entre 65 et 70° centésimaux; ils sont ensuite plongés les uns brusquement, les autres progressivement, dans un bain d'eau maintenue entre 10 et 15° centésimaux. Après cet essai, les pièces ne doivent montrer aucune cassure ni fente, même de l'émail.

10. *Essai de résistance mécanique.* — Les isolateurs sont soumis à un effort progressif, appliqué sur la gorge, perpendiculairement à l'axe de la ferrure. La porcelaine ne doit pas casser avant que la ferrure ait subi une déformation permanente.

11. *Épreuve de tension à sec.* — L'isolateur garni d'un élément de ligne avec la ligature normale en position d'emploi, est soumis à une tension alternative, de fréquence industrielle (de 15 à 100 p. s), de forme pratiquement sinusoïdale appliquée entre le conducteur et la ferrure mise à la terre.

La tension est élevée progressivement jusqu'à la valeur qui provoque l'éclatement de l'arc défini comme ci-dessus. Cette tension doit être égale, au moins aux 90 centièmes de celle qui est indiquée par le fabricant comme caractéristique de son isolateur.

12. *Épreuve de tension sous pluie.* — On réalisera une pluie artificielle de 5 mm de hauteur d'eau par minute. L'eau en sera empruntée aux conduites de distribution voisines et sera à la température de 0 à 15° centésimaux; le jet sera dirigé à 45° de l'axe de l'isolateur placé dans la position d'emploi. La tension sera élevée progressivement jusqu'à l'éclatement de l'arc; sa valeur ne doit pas être in-

(1) Il est recommandé aux acheteurs de faire exécuter ces essais sur un échantillon, avant la conclusion du marché.

(2) C'est par cette épreuve seulement que ce cahier des charges diffère de celui des isolateurs en verre.

lérieure aux 90 centièmes de celle qu'indique le fabricant.

13. *Épreuve de tension de perforation.* — La tension de perforation étant toujours supérieure à la tension d'éclatement, l'épreuve ne peut être faite que dans des conditions qui diffèrent beaucoup des conditions d'emploi (essais dans l'huile, ou autre dispositif spécial). Une telle épreuve ne peut être considérée que comme un renseignement complémentaire et n'aura lieu que d'un commun accord entre les intéressés.

14. *ESSAIS DE RÉCEPTION.* — Tous les isolateurs sans exception sont éprouvés en les plaçant par groupes, la tête en bas, dans une cuve d'eau, de façon que la gorge circulaire destinée à recevoir la ligature, soit noyée complètement, et en appliquant la tension entre la cuve, d'une part, et une petite quantité d'eau remplissant à peu près complètement le trou de scellement, d'autre part.

La durée de l'épreuve est de quinze minutes, pendant laquelle la valeur de la tension est maintenue aux 75 centièmes de la tension nominale d'éclatement à sec qui est indiquée par le fabricant comme caractéristique de son isolateur.

Tous les isolateurs qui résistent à cet essai sont réputés bons.

Si la proportion des pièces qui n'ont pas résisté à l'essai dépasse 10 pour 100, le lot entier pourra être refusé.

B. Isolateurs en verre.

OBSERVATION PRÉLIMINAIRE. — Les présentes conditions ne font pas obstacle à l'établissement de conditions différentes arrêtées par convention entre les parties intéressées ; elles sont applicables à défaut de stipulations contraires.

Caractéristiques des isolateurs. — 1. Les isolateurs sont définis par leurs propriétés caractéristiques électriques.

Ces caractéristiques sont :

La tension d'éclatement à sec ;

La tension d'éclatement sous pluie ;

La tension de perforation.

Par *éclatement*, on entend la formation d'un arc franc de teinte jaune, qui correspond à une augmentation brusque et maintenue (jusqu'à disjonction) de la puissance, arc dont l'apparition soudaine suit généralement l'apparition graduelle des effluves et des étincelles crépitantes de teinte bleue.

Par *perforation*, on entend le passage de l'arc au travers du verre établissant un courant d'une intensité suffisante pour produire une forte chute de tension du transformateur d'essai.

OBSERVATION. — Un fragment détaché du bord de l'une des cloches, sous l'action de la chaleur d'un arc contournant l'isolateur, n'est pas considéré comme une perforation.

2. La tension d'emploi ne dépend que du choix de celui qui fait usage de l'isolateur. Le facteur de sécurité qu'il entend obtenir lui permet de déduire cette tension des valeurs caractéristiques définies ci-dessus.

3. Toutes ces tensions sont exprimées en valeurs *efficiaces*.

Elles doivent être de fréquences industrielles et de forme *pratiquement sinusoïdale*, forme définie dans la réglementation particulière aux machines ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Rappelons que l'alinéa 11 du paragraphe IV des *Règles françaises d'unification des machines électriques*, établies par l'Union des Syndicats de l'Électricité et le Comité électrotechnique français, est ainsi libellé.

« *Forme d'onde.* — Coefficient de déformation. — La forme d'onde

Il est admis comme suffisant que cette condition soit remplie par l'alternateur qui alimente le transformateur.

Conditions de fabrication. — 4. Le verre d'un isolateur doit être homogène et sa recuison complète.

5. Les parties destinées au scellement peuvent être striées, rainées, taraudées, molletées ou munies, par tout autre moyen, d'aspérités propres à assurer un bon scellement.

6. Les dimensions des pièces seront conformes aux cotes du dessin du type sauf les tolérances de 5 pour 100 sur les dimensions inférieures à 20 mm et 3 pour 100 pour les dimensions supérieures.

Essais des isolateurs. — 7. Les essais des isolateurs se divisent en deux catégories, savoir :

Première catégorie. — Essais de type destinés à éclairer l'exploitant sur la valeur du type choisi en ce qui concerne sa résistance dans les conditions qu'il peut avoir à subir.

Deuxième catégorie. — Essais de réception de pièces destinées à éprouver, avant leur mise en place, tous les isolateurs qui font partie de leur fourniture.

8. *ESSAIS DE TYPE.* — Ces essais portent au minimum sur cinq pièces et au maximum sur 2 pour 1 000 de la quantité commandée. Les pièces sont prises au hasard dans un lot et subissent toutes les épreuves dans l'ordre indiqué ⁽¹⁾ Ces essais portent sur les points suivants :

Effet de variations de température ;

Epreuve de résistance mécanique ;

Epreuve de tension à sec ;

Epreuve de tension sous pluie ;

Epreuve de perforation.

Pour tous les essais, les isolateurs sont montés sur leurs ferrures normales dans les conditions d'emploi.

9. *Essai de température.* — Les isolateurs montés sur leurs ferrures sont échauffés par immersion dans un bain d'eau maintenue entre 45° et 50° centésimaux. Ils sont ensuite soumis à une pluie artificielle de 5 mm de hauteur par minute à une température de 10° à 15° centésimaux. La température d'échauffement est réglée de manière que l'écart de température ne dépasse pas 35° centésimaux.

Le jet est dirigé à 45° de l'axe de l'isolateur.

Après cet essai, les pièces ne doivent présenter ni fente ni cassure.

10. *Essai de résistance mécanique.* — Les isolateurs sont soumis à un effort progressif, appliqué sur la gorge, perpendiculairement à l'axe de la ferrure. Le verre ne doit pas casser avant que la ferrure ait subi une déformation permanente.

11. *Epreuve de tension à sec.* — L'isolateur garni d'un élément de ligne avec la ligature normale, en position d'emploi, est soumis à une tension alternative, de fréquence industrielle (de 15 à 100 p. s.), de forme pratiquement sinusoïdale appliquée entre le conducteur et la ferrure mise à la terre.

La tension est élevée progressivement jusqu'à la valeur

idéale de la force électromotrice d'un alternateur est la sinusoïde ; les formes réalisables s'en écartent plus ou moins.

« La *sinusoïde équivalente* à une forme donnée est celle qui possède la même valeur efficace. Superposée à la forme réelle, elle accuse des différences d'ordonnées. Le maximum de ces différences, rapporté à l'ordonnée maximum de la sinusoïde, est le *coefficient de déformation*.

« Une forme dont le coefficient de déformation est inférieur à 0,05 est considérée comme pratiquement sinusoïdale ».

⁽¹⁾ Il est recommandé aux acheteurs de faire exécuter ces essais sur un échantillon avant la conclusion du marché.

qui provoque l'éclatement de l'arc défini comme ci-dessus. Cette tension doit être égale au moins aux 90 centièmes de celle qui est indiquée par le fabricant comme caractéristique de son isolateur.

12. *Epreuve de tension sous pluie.* — On réalisera une pluie artificielle de 5 mm de hauteur d'eau par minute. L'eau en sera empruntée aux conduites de distribution voisine, et sera à la température de 10 à 15° centésimaux; le jet sera dirigé à 45° de l'axe de l'isolateur placé dans la position d'emploi. La tension sera élevée progressivement jusqu'à l'éclatement de l'arc; sa valeur ne doit pas être inférieure aux 90 centièmes de celle qu'indique le fabricant.

13. *Epreuve de tension de perforation.* — La tension de perforation étant toujours supérieure à la tension d'éclatement, l'épreuve ne peut être faite que dans des conditions qui diffèrent beaucoup des conditions d'emploi (essais dans l'huile, ou autre dispositif spécial). Une telle épreuve ne peut être considérée que comme un renseignement complé-

mentaire et n'aura lieu que d'un commun accord entre les intéressés.

14. *ESSAIS DE RÉCEPTION.* — Tous les isolateurs sans exception sont éprouvés en les plaçant par groupes, la tête en bas, dans une cuve d'eau, de façon que la gorge circulaire destinée à recevoir la ligature soit noyée complètement, et en appliquant la tension entre la cuve, d'une part, et une petite quantité d'eau remplissant à peu près complètement le trou de scellement, d'autre part.

La durée de l'épreuve est de 15 minutes, pendant laquelle la valeur de la tension est maintenue aux 75 centièmes de la tension nominale d'éclatement à sec qui est indiquée par le fabricant comme caractéristique de son isolateur.

Tous les isolateurs qui résistent à cet essai sont réputés bons.

Si la proportion des pièces qui n'ont pas résisté à l'essai dépasse 10 pour 100, le lot entier pourra être refusé.

Revue, analyses et informations

Appareil permettant la détermination exacte de la fréquence au moyen d'une méthode de zéro (1).

Cet appareil, appelé par l'auteur *pont à fréquence*, convient particulièrement à la mesure des fréquences usitées dans les audions, mais s'applique aussi à celles de 60 p : s.

Tout dispositif de pont à courant alternatif, où l'équilibre est influencé d'une façon quelconque par la fréquence du courant appliqué, peut être employé comme pont à fréquence. Mais de tous les dispositifs, ceux qui donnent la plus haute sensibilité sont ceux où l'équilibre est basé sur la comparaison de la tension aux bornes d'un condensateur avec la chute de tension à travers une inductance, ou avec la force électromotrice induite dans le secondaire d'une inductance mutuelle. Une chute de tension de capacitance et une chute inductive seront affectées par une variation de fréquence de façons exactement opposées, et l'équilibre sera, dès lors, doublement sensible.

LA MÉTHODE CAMPBELL PAR INDUCTANCE MUTUELLE ET CONDENSATEUR. — C'est une méthode basée sur ce principe qui a été proposée par Campbell. Un condensateur C est relié en série avec le primaire d'une inductance mutuelle étalon M, de la façon qu'indique la figure 1, et l'on compare la chute de

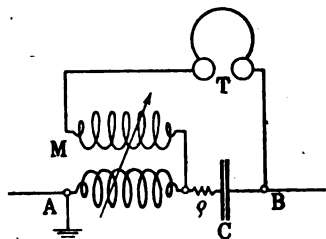


Fig. 1.

tension à travers le condensateur C avec la chute par réactance mutuelle dans le secondaire au moyen d'un indicateur de zéro T, qui est, par exemple, un téléphone, ou un galvanomètre à vibration. Si I est le courant primaire, on a, en égalant à zéro la chute de tension totale dans le circuit de

l'indicateur, l'équation complexe suivante qui exprime l'équilibre :

$$Ij\omega M + I\left(\rho + \frac{1}{j\omega C}\right) = 0.$$

Ce qui équivaut aux deux conditions réelles d'équilibre suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega = \frac{1}{\sqrt{MC}}, \\ \rho = 0. \end{array} \right.$$

Comme ρ désigne ici la résistance série équivalente du condensateur lui-même, la dernière équation signifie qu'il faudrait employer un condensateur *parfait* pour obtenir l'équilibre absolu. Il faut donc, pour des travaux précis, un condensateur présentant des pertes extrêmement faibles, à moins qu'on n'emploie un système spécial pour avancer la phase de la chute de tension par inductance mutuelle dans le secondaire. Il y a une autre difficulté : la méthode exige une inductance mutuelle et un condensateur de dimensions telles que MC soit égal à l'inverse de ω^2 . Lorsqu'on mesure de basses fréquences, le produit de M en henrys et de C en microfarads doit donc être assez grand, égal à 7 environ pour 60 p : s, ce qui nécessite l'emploi de très grandes bobines et d'un condensateur d'assez forte capacité.

LE PONT A FRÉQUENCE COMPENSÉ. — On a trouvé qu'avec certaines modifications de cette méthode, il est possible d'éliminer ces deux inconvénients sans trop de complication.

Le montage en série est shunté par une résistance R de quelques milliers d'ohms (fig. 2) et l'on compare la chute de

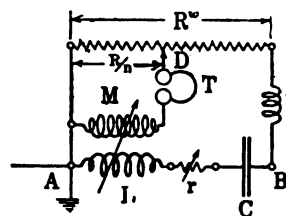


Fig. 2.

tension à travers la $n^{\text{ième}}$ partie de cette résistance à la chute de tension par réactance mutuelle dans la bobine secondaire. Comme on le verra plus loin, il faut intercaler une petite inductance l en série avec la résistance R .

(1) Edy VELANDER. *Journal of the A. I. E. E.*, novembre 1921, t. XL, p. 835-839.

Si l'on admet qu'aucun courant ne passe dans l'indicateur T, et si on désigne par V_{AB} la tension aux bornes de l'ensemble du montage, la chute de tension entre A et le contact D sera

$$V_{AB} \times \frac{\frac{R}{n}}{R + j\omega l}.$$

Le courant dans la dérivation condensateur est

$$I_C = \frac{V_{AB}}{r + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}.$$

On fait entrer dans r la résistance de la bobine primaire et aussi la résistance série équivalente du condensateur. L est l'inductance primaire. La force électromotrice induite dans la secondaire sera $-j\omega M I_C$, et la condition d'équilibre sera

$$V_{AB} \times \frac{\frac{R}{n}}{R + j\omega l} - V_{AB} \times \frac{j\omega M}{r + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = 0.$$

Cette équation entraîne les deux suivantes, correspondant aux parties réelle et imaginaire :

$$\begin{cases} \omega = \frac{1}{\sqrt{C(L + nM)}}, \\ l = RrC \left(1 + \frac{L}{nM} \right). \end{cases}$$

La formule de la fréquence est donc très simple et analogue à l'expression de la fréquence de résonance dans un circuit condensateur-inductance. L'effet du dispositif potentiométrique de R est évidemment de multiplier l'effet de l'inductance mutuelle dans le rapport n à 1. Si la valeur de n est choisie assez grande, 20 par exemple, on peut obtenir un équilibre avec des bobines et des condensateurs de dimensions raisonnables, même si la fréquence à mesurer est assez basse.

La seconde équation montre que la petite inductance l est nécessaire pour un équilibre exact. Elle sert à retarder la phase du courant dans R de la même quantité dont le courant dans le condensateur est retardé par rapport au vecteur à 90° en avance par la résistance de r comprise dans la branche principale. Dans tous les cas pratiques, la valeur de l'inductance nécessaire est très faible, de sorte que le réglage correspondant à la dernière équation ne sert qu'à parfaire l'équilibre. Le pont fonctionnera donc d'une manière satisfaisante même si la dernière condition n'est que grossièrement réalisée.

L'article donne ensuite quelques détails sur la réalisation de l'appareil et sur un pont à fréquence à grande étendue de mesure. — P. L.

Détermination de la capacité propre des transformateurs ⁽¹⁾.

1. REMARQUES À PROPOS DE L'ARTICLE DE MM. PAUL JOYE ET MARIUS BESSON « NOTE SUR LA CAPACITÉ RÉPARTIE DES TRANSFORMATEURS OU DES BOBINES D'INDUCTION » ⁽²⁾. — Rappelons brièvement que MM. Joye et Besson ont essayé d'établir la valeur de la « capacité répartie » d'un transformateur ou d'une bobine d'induction en mettant l'appareil en résonance sur cette capacité propre. Ils ont déterminé la formule qui donne la valeur de cette capacité C en fonction de la valeur de la fréquence de résonance, soit de ω . Le schéma de l'une de leurs expériences est le suivant : ils font varier la fréquence en partant de zéro. Ils notent la valeur de ω au mo-

ment où l'intensité I passe par un maximum. En portant cette valeur de ω dans leur formule, ils déduisent C . Cette méthode n'a conduit qu'à des valeurs incertaines, et les auteurs ne la recommandent provisoirement que comme susceptible de donner l'ordre de grandeur seulement de la capacité C .

M. Goldstein fournit de l'insuffisance de ces résultats une explication simple et susceptible de faire faire quelques progrès à l'étude des capacités réparties.

Il rappelle, en effet, que dans le cas des transformateurs à longs enroulements et grand rapport de transformation, qui sont précisément le genre de ceux que MM. Joye et Besson ont étudiés au cours de leurs expériences, l'oscillographe décelait la présence des harmoniques 3 et 5, pour ne mentionner que les plus importants. Il y a donc tout lieu de penser qu'au moment où MM. Joye et Besson croyaient faire résonner la capacité répartie sur l'harmonique fondamental de pulsation ω , ils la mettaient en résonance sur l'un des harmoniques secondaires, dont la présence leur avait échappé, de pulsation 3ω , 5ω , etc.

M. Goldstein présente à l'appui de cette remarque le cas d'un transformateur à haute tension, de 20 kv.-a. 400 000 000 v. La figure 1 reproduit l'oscillogramme du

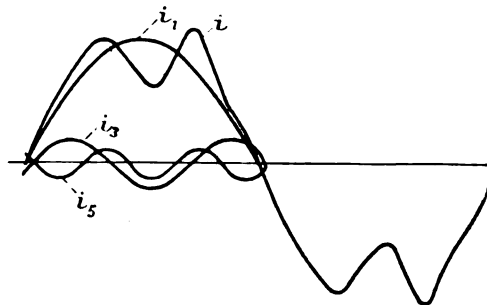


Fig. 1.

courant secondaire, établi sur l'onde résultante i , et sur les ondes harmoniques i_1 , i_3 , i_5 . L'étude analytique (développement en série de Fourier, de ces courbes donne :

$$i = 1,852 \sin \omega + 0,356 \sin (3\omega t - 7^\circ 10') - 0,194 \sin (5\omega t)$$

La figure 2 traduit, d'après M. Goldstein, l'allure du phénomène au cours des expériences, c'est-à-dire l'apparition

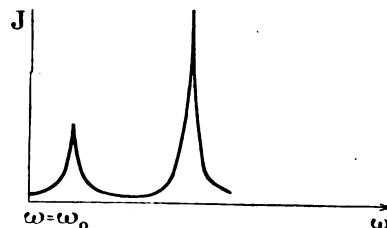


Fig. 2.

successive des maxima de résonance pour les valeurs successives de ω .

2. MÉTHODE D'APPROXIMATION DE LA CAPACITÉ PROPRE DES TRANSFORMATEURS, À L'AIDE D'UNE ÉTUDE PRÉPARATOIRE DES HARMONIQUES. — Dans cette seconde partie, M. Goldstein, étant données les précédentes observations, recommande une étude préliminaire de la courbe du courant dont on étudie la résonance. Les expériences devront être conduites en faisant varier ω toujours dans le même sens, par exemple, en partant de zéro. Il établit une formule donnant la valeur de C pour une résonance sur l'harmonique de rang n .

Il n'indique pas que des expériences aient eu lieu pour vérifier cette méthode complétée de mesure de la capacité répartie des transformateurs. — L. C.

⁽¹⁾ GOLDSTEIN. *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, avril 1921, t. XII, n° 4, p. 99-103, 1500 mots, 6 fig.

⁽²⁾ Analyse publiée dans *R. G. E.*, 17 décembre 1921, t. X, p. 189 D.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Rôle de l'École pratique et des Cours professionnels dans les industries électriques

Dans cette étude, l'auteur commence par définir le rôle des écoles pratiques d'industrie dans la formation de l'ouvrier électricien : Enseigner aux apprentis les connaissances communes aux diverses divisions de l'industrie électrique pour leur permettre de s'adapter facilement à la spécialité dans laquelle ils auront à travailler à leur sortie de l'école. Il expose ensuite le caractère de l'enseignement qui doit y être donné pour atteindre ce but, puis indique le programme et l'horaire des travaux manuels qui doivent y être effectués. — La seconde partie, qui paraîtra ultérieurement, montrera la nature du matériel dont devra disposer l'école pour la réalisation de ces travaux pratiques.

I. Qu'entend-on par ouvrier électricien ? —

L'industrie électrique comprend des spécialités très différentes qui demandent des aptitudes et une technique particulières pour le personnel employé par chacune d'elles. Les câbleries, la construction des machines ou de l'appareillage, la fabrication des lampes ou des appareils téléphoniques, de télégraphie sans fil et médicaux, l'exploitation des usines centrales, des usines électrochimiques et métallurgiques, etc., ainsi que l'entreprise des installations de force motrice, de lumière, la conduite et l'entretien de ces installations, etc., exigent que les ouvriers électriciens possèdent des connaissances pratiques particulières et très différentes que l'exercice de la spécialité doit surtout leur faire acquérir.

D'après cet exposé, l'ouvrier électricien doit être un mécanicien ayant abordé les professions du bâtiment et possédant en électricité les connaissances strictement suffisantes pour comprendre la construction, le fonctionnement, le montage du matériel de production et d'utilisation de l'énergie électrique.

Aucune école ne peut avoir la prétention d'assurer la formation de cet ouvrier électricien « universel », capable d'être employé dans une industrie électrique *quelconque*, parce qu'elle devrait conserver les élèves durant une scolarité beaucoup trop longue et diviser son enseignement en un trop grand nombre de sections.

L'école pratique d'industrie doit enseigner aux apprentis électriciens les connaissances communes aux différentes divisions de l'industrie électrique pour leur permettre de s'adapter rapidement à la spécialité de l'établissement qui les acceptera à la sortie de l'école.

Toutefois, étant donné que les écoles pratiques doivent tenir compte des besoins des industries locales, il peut paraître utile d'envisager la préparation d'électriciens dont les aptitudes et les connaissances auront été développées en vue de leur emploi dans l'industrie électrique régionale. Il est, en effet, évident que, dans

les centres de constructions électriques où les mécaniciens de tous ordres (ajusteurs, tourneurs...) abondent, les connaissances réclamées des électriciens sont différentes de celles qui sont nécessaires dans les exploitations où les mécaniciens font défaut. Là, l'électricien suffit, ici, il faut qu'il supplée le mécanicien. La souplesse de l'enseignement donné dans nos écoles pratiques permet parfaitement de faire varier en plus ou en moins la technologie et les travaux pratiques en faveur de la mécanique ou de l'électricité, ou même d'une branche de l'électricité spéciale à l'industrie régionale.

II. Formation de l'apprenti électricien. —

PARTIE PRATIQUE. — L'apprenti électricien doit exécuter tous les travaux d'électricité depuis les montages de sonneries jusqu'aux essais de machines. Sans être un ajusteur rapide, l'électricien doit être assez expérimenté en ajustage et dans la conduite des machines-outils pour solutionner les difficultés mécaniques qui se présenteront au cours de ses travaux, soit dans l'installation de machines et d'appareils, soit dans leur réparation sur place.

Bien que n'étant pas menuisier, plombier, zingueur, maçon, peintre, l'électricien doit avoir quelques notions élémentaires de ces diverses professions soit pour dresser un tableau en bois, faire une soudure à l'étain, braser le cuivre, faire un scellement au plâtre, au ciment, travailler le marbre, vernir une planchette et faire un raccord de peinture, le tout avec goût, soit pour surveiller et assurer la bonne exécution de ces travaux accessoires, s'ils prennent trop d'importance.

Enfin, il est indispensable de faire exécuter à l'apprenti des exercices de manutention, de lui faire confectionner des échafaudages, des ligatures, de l'initier à l'élégissement des pièces un peu lourdes, de lui expliquer l'usage de la pince, du rouleau, du crie, des palans, des ablos, etc...

PARTIE THÉORIQUE. — Les notions élémentaires d'électricité industrielle dispensées aux futurs électriciens

doivent leur donner les connaissances indispensables à l'exécution intelligente des travaux qu'ils exécutent afin de les élever au-dessus du rang de simples poseurs de fils. Il faut non seulement qu'ils puissent faire une installation d'après schéma, sans erreurs de montages ou de connexions, mais encore qu'ils soient à même de comprendre les applications industrielles actuelles et nouvelles de la science électrique, les conditions de fonctionnement des machines et appareils, les causes de troubles et d'arrêt et les moyens d'y parer.

Enfin, il faut qu'ils puissent s'affranchir de la tutelle trop étroite du contremaître ou de l'ingénieur.

En élevant ainsi le niveau de leurs connaissances et leur valeur professionnelle, on leur permettra d'augmenter leur productivité et leur rendement dans leur propre intérêt, d'abord, mais aussi dans l'intérêt du patron, du client et de l'industrie électrique tout entière.

III. Caractère du cours d'électricité industrielle. — *Le cours doit se limiter aux notions élémentaires strictement nécessaires à la compréhension des travaux du monteur électricien.*

Aussi, le cours doit rester élémentaire parce que nous n'avons pas en vue la formation du dessinateur ou de l'ingénieur.

Inutile de chercher à démontrer rigoureusement les lois fondamentales de la science électrique, d'introduire des notions de mathématiques trop élevées pour nos élèves et cela pour la commodité du raisonnement, car ce sont des études de ce genre qui donnent aux apprentis des prétentions exagérées, les exposant aux désillusions les plus cruelles en leur laissant croire qu'ils peuvent se caser dans les bureaux d'études électriques alors que leur place est à l'atelier. Il suffit de commenter les lois d'applications courantes à l'atelier et au montage et d'apprendre à les utiliser.

Sans vouloir se borner à une étude purement descriptive des machines, il est nécessaire d'étudier les matériaux employés en électricité, de donner la description raisonnée des principaux appareils électriques, de faire un cours de montage, de conduite, d'entretien et de réparation de ces mêmes appareils.

Le cours doit être expérimental. Ce n'est pas le livre, ce ne sont pas les explications orales du professeur qui peuvent remplacer l'expérience dans l'étude d'une science expérimentale comme l'électricité, surtout avec un auditoire comme celui de l'Ecole pratique.

Il ne faut pas se contenter d'énoncer une loi, il faut la montrer expérimentalement ou plutôt faire expérimenter l'élève lui-même avec des appareils simples, solides, fabriqués de toutes pièces avec le concours des ateliers de l'Ecole pratique...

Soit à expliquer la formule courante $R = \frac{\rho L}{S}$, c'est-à-dire à montrer que la résistance d'un conducteur dépend de sa nature, de sa longueur et de sa section.

Sur le trajet d'un courant électrique, on peut placer,

côte à côte, trois lampes ⁽¹⁾ à incandescence identiques alimentées par trois fils séparés de cuivre, de fer et d'aluminium de même longueur et de même section et constater par l'éclat des lampes que la conductivité des métaux dépend de leur nature. On peut ensuite alimenter les trois lampes au moyen de trois lignes de cuivre répondant aux données suivantes :

La première de longueur L et de section s ;

La deuxième de longueur $3L$ et de section s ;

La troisième de longueur L et de section $3s$, et constater que la résistance d'un même métal augmente avec la longueur et diminue quand sa section augmente.

En outre, pour éviter que le monteur ne s'habitue à considérer la chute de tension comme l'unique condition devant être remplie pour la détermination des lignes électriques, on peut compléter l'expérience précédente par la suivante :

Prendre deux groupes de lampes électriques d'une intensité totale de 20 bd chacun, alimentés, l'une par une ligne de 23,4 m de longueur et de 4,91 mm² de section, l'autre de 3 m de longueur et 0,63 mm² de section, constater avec le voltmètre que la chute de tension est la même, que les deux groupes de lampes ont la même intensité lumineuse et se rendre compte qu'au bout d'un certain temps de fonctionnement la deuxième ligne est sensiblement plus chaude que la première ; on peut même pousser l'expérience jusqu'au moment où l'isolant de la deuxième ligne commence à fondre ou à brûler.

Appelé à installer ou à conduire des appareils dont les conditions d'utilisation doivent pouvoir être déterminées à tout instant, l'élève doit savoir comment sont construits, installés, utilisés et contrôlés les appareils industriels de mesure, les ampèremètres, fréquence-mètres, compteurs, voltmètres, wattmètres, etc... notre apprenti devra donc faire des mesures, des essais et des réglages.

Mais il est absolument nécessaire d'attirer l'attention des élèves sur le caractère très élémentaire des notions qu'on peut leur donner à l'école. En ce qui concerne les compteurs, par exemple, il faut qu'ils sachent que ce qu'ils ont appris ne peut pas être considéré comme une base suffisante leur permettant d'entreprendre plus tard l'étude spéciale de ce genre d'appareils. Celui qui veut s'occuper spécialement des compteurs doit en étudier les principes scientifiques tels que l'influence du $P D^2$, les dispositifs de compensation, etc... et en connaître les détails de construction très variés, étant donné le grand nombre de types de compteurs en usage. Les perfectionnements apportés journellement aux compteurs, les brevets que prennent les principaux constructeurs portent sur des détails dont la valeur scientifique et pratique échappe même aux ingénieurs qui ne sont pas spécialisés.

L'apprenti ne doit donc pas sortir de l'école avec la prétention de connaître les compteurs ; il doit seule-

⁽¹⁾ Les lampes peuvent être remplacées par des ampèremètres qui permettront de transformer les résultats qualitatifs en résultats quantitatifs.

ment être fixé sur le branchement des types principaux : compteurs à courant continu, à courant alternatif, à courant triphasé, pour charge équilibrée ou non ; il doit savoir que les branchements de compteurs à courant alternatif doivent être étudiés pour la basse et la haute tension et, dans ce dernier cas, avec transformateurs d'intensité et de tension.

Il doit être prévenu que l'inversion au passage du courant dans l'un des circuits d'un compteur triphasé, par exemple, amène celui-ci à mesurer toute autre chose que l'énergie réelle consommée.

Enfin, cet enseignement expérimental sera complété par des visites d'usines ou d'installations électriques suivies de causeries faites par des ingénieurs sur les spécialités électriques de la région.

Un docteur expliquera en une ou deux leçons, les soins à donner aux victimes des accidents dus à l'électricité.

IV. — Programme des travaux manuels. — Voici ce programme :

1° EXERCICES DE FERBLANTERIE, PLOMBERIE ET TUYAUTERIE. — Pliage et bordage de parties droites, de parties courbes.

Étamage et soudure de deux morceaux de zinc, de deux lames de fer-blanc.

Emploi du fer à souder et de la lampe à souder ; allumage de la lampe à souder.

Préparation de la soudure.

Décapage des pièces. Usage de l'esprit de sel, de la résine et du suif. Prohibition de l'esprit de sel dans les soudures électriques.

Souder des cosses à l'extrémité : 1° de fils simples ; 2° de câbles.

Confection d'un réservoir cylindrique, conique.

Coupe, cintrage, filetage de tuyaux de fer ; filetage et pose de raccords.

Travail des tubes Bergmann.

2° EXERCICES DE MAÇONNERIE, PLÂTRERIE ET PEINTURE. — Percage de murs à la mèche, au tamponnoir, au burin, à la broche, dans la brique, la pierre.

Préparation de scellement : trous cylindriques et trous tronconiques.

Préparation du ciment : ciments lents, rapides avec ou sans sable.

Préparation du plâtre.

Sceller des briques en bois au plâtre et au ciment : fixation des tampons en bois.

Sceller des ferrures dans la pierre avec du soufre ou du plomb.

Sceller des cloches de porcelaine sur leurs supports métalliques.

Sceller des équerres, des consoles, des isolateurs en ayant recours au niveau et au fil à plomb.

Percer des murs et maçonner des boîtes pour entrée de fils.

Maçonner des manchons pour la traversée des murs.

Rejointoyer.

Préparation des enduits au plâtre.

Réparation des revêtements au plâtre.

Raccords de plafonds.

Logement de tubes Bergmann qui doivent être cachés dans les murs et garnissage au plâtre.

Préparation des peintures, enduits et mastics.
Exécution d'un raccord de peinture.

3° MENUISERIE. — Le programme sera celui du cours de première année des Ecoles pratiques qui a pour but d'apprendre à l'élève à corroyer une pièce de bois, à manier la scie, le ciseau et le bédano pour arriver à assembler et sceller un panneau.

4° AJUSTAGE ET FORGE. — L'apprenti doit arriver à exécuter complètement une pièce de machine électrique, par exemple le redressage d'un arbre de dynamo faussé, y compris une rectification de portées et le remplacement des coussinets ; des consoles, des herse en fer profilé avec ou sans joint de force.

5° TRAVAUX ÉLECTRIQUES. — Exercice de montage, de canalisation et d'appareillage.

Épissures de fils simples. — Fils jusqu'à 25 et 30 dixièmes de millimètres : a) Ligatures en double torsade ; b) Ligature à l'aide d'un fil de cuivre enroulé en spire sur les extrémités des câbles à relier ; c) Mêmes exercices avec des fils de différents diamètres.

Jonctions de dérivation. — Fils simples de différents diamètres. *Souder et isoler* les ligatures précédentes (toujours sans acides).

Épissures de câbles. — a) De 7 et de 12 fils ; b) Branchement dérivation de câbles de 7 et 12 fils ; c) Épissures de câbles de 19 et 37 fils ; d) Branchement de dérivation de câbles de 19 et 37 fils. *Souder et isoler ces épissures.* Emploi d'une couche de caoutchouc et du ruban au châtillon (toile isolante).

Fixation des conducteurs sur les isolateurs. — a) Ligature dans la rainure supérieure ; b) Ligature latérale dans la gorge.

Pour ces exercices, des cloches seront fixées à la portée des élèves sur des supports horizontaux et verticaux et, par mesure d'économie, on pourra employer du fil de fer recuit pour les ligatures.

Canalisation intérieure (1) — a) Montage rapide pour basses tensions à l'aide de cavaliers (disposition prohibée pour l'éclairage) ;

b) Montage sous moulure (montage toléré). Préparation des tampons, leur fixation. Ajustage des moulures. Fixation des moulures (vis de préférence). Montage des fils (soins à apporter pour les ligatures). Dérivation. Raccords des moulures, aux angles, aux dérivation. Inconvénients du montage sous moulures qui ne répond pas aux progrès réalisés dans l'industrie électrique.

c) Montage avec tube souple qui, beaucoup mieux que le précédent, respecte le style des appartements.

d) Montage « industriel » sur poulies (montage préconisé). Entrées et sorties des fils. Emploi des pipes et manchons. Moyens d'éviter les contacts avec les conduites de gaz et d'eau ou avec des parties métalliques. Tubes ébonite ou Bergmann. Ferrures pour poutrelles. On placera des tubes et morceaux de fer. Installations dans les bâtiments à toiture en « sheeds ».

e) Installation à l'aide de tubes Bergman. Créer des difficultés telles que : coudes ; conduite de gaz ; appareils à contourner, etc...

f) Canalisations dans un appartement décoré. Choix du fil teinté. Emploi de fils doubles en torsades (à ne pas recom-

(1) Pour ces exercices, de grands tableaux et des murs seront à la disposition des élèves.

mander). Fixation des fils à l'aide du système Peschel.

Canalisation extérieure. — Distance minimum entre les conducteurs. Distances moyennes entre les points de fixation des fils.

Tensions admises. Coefficient de sécurité. Flèches correspondant aux tensions et aux coefficients de sécurité.

Efforts reportés au centre de gravité des points d'attache des conducteurs.

Types différents de supports : poteaux, pylônes, consoles, herse (types lignes droites, angles et ancrages), leur détermination. Leurs conditions d'établissement, fixations, scellements, fondations.

Nature des isolateurs, leurs formes et leurs dimensions et celles des ferrures.

Tirage et ligature des fils et câbles.

Canalisation dans les locaux tels que les caves et souterrains. — Fixation des fils sur des doubles cloches et des isolateurs accouplés scellés aux voûtes. Canalisations dans les locaux tels que écuries, teintureries, etc., dans lesquels il existe des gaz, des vapeurs qui attaquent l'isolant et les appareils.

Installation d'une sonnerie. — a) Avec bouton d'appel; b) avec tableau annonciateur; c) montage de plusieurs sonneries sur une même batterie; d) montage de contacts; e) retour par terre, etc...

Montage des lampes à incandescence. — a) montage industriel; b) montage d'appartement; c) utilisation des appareils d'éclairage au gaz ou au pétrole; d) montage simple; e) montage avec va-et-vient, etc., escalier; f) montage dans les locaux humides.

Montage et réglage de deux lampes à arc. — a) montage avec treuil; b) montage avec contrepoids.

Vérification des lignes. Installation des parafoudres et des limiteurs de tension. Examen d'un induit. — Confection d'une section des différents types d'induit afin de pouvoir les reconnaître et d'être à même de signaler les réparations possibles. (Il est très difficile de former un bon ouvrier bobineur; le bobinage est une spécialité que l'ouvrier ne peut acquérir que dans un atelier industriel. Soyons satisfaits si, après examen d'un induit, le monteur peut en déterminer le bon ou le mauvais état : section brûlée, isolant détérioré, etc...)

Démontage et remontage d'un collecteur. Recherche de l'isolement entre les lames ou à la masse. Rectification d'un collecteur sur le tour ou sur le bâti.

Règles à suivre pour le montage, la mise en place, la commande, la conduite, l'entretien. — a) d'une dynamo shunt; b) d'une dynamo compound.

Recherche des défauts et accidents; réparations. Couplage des dynamos. Couplage en parallèle de deux dynamos shunt. Couplage en série des dynamos shunt, couplage en série des dynamos série. Montage à trois fils.

Montage, conduite, entretien des principaux types de moteurs électriques. — Les erreurs de montage pour la mise en route d'un moteur, leurs conséquences et la manière de les corriger.

Montage et conduite d'un moteur shunt avec rhéostat de démarrage.

Montage et conduite d'un moteur synchrone monophasé avec une bobine de self-induction ou condensateur. Cet exercice pourra donner une idée du déphasage ($\cos \varphi$) provoqué par l'induction ou la capacité.

Montage et conduite d'un moteur triphasé à collecteur avec variation de vitesse par décalage des balais (moteur pour métier à tisser, à retordre, etc.). Montage et conduite d'un moteur triphasé à collecteur avec variation de vitesse

par rhéostat (moteurs pour machines-outils à plusieurs vitesses).

Montage et conduite d'un moteur triphasé avec induit bobiné et dispositif de relevage des balais. Montage et conduite d'un moteur triphasé avec induit en court-circuit pour démarrage : étoile, triangle.

Montages triphasés, en étoile, en triangle.

Montage, conduite et entretien des piles et accumulateurs.

— Montage et construction de tableaux de distribution : connexions avec dynamos et moteurs. Montage d'un compteur à courant continu, à courant alternatif.

Schémas. — Les monteuses doivent pouvoir établir les schémas détaillés d'une installation électrique d'éclairage ou de force en complétant les plans d'ensemble qu'ils sont tenus de suivre. D'où la nécessité de faire exécuter des schémas dont voici quelques-uns :

Établir le schéma pour l'éclairage d'un escalier à quatre étages, comprenant une lampe pour chaque étage, le nombre et le genre des interrupteurs, permettant d'éclairer les quatre lampes simultanément ou l'une quelconque d'entre elles. Établir le schéma d'une installation comprenant une dynamo à tension constante devant servir pour la charge d'une batterie d'accumulateurs. Établir le schéma d'une sous-station comprenant un transformateur alimenté par la centrale et un petit alternateur de réserve. Établir le schéma d'un réseau triphasé devant alimenter une usine dans laquelle sont placés plusieurs moteurs de différentes puissances.

Ce genre d'exercices peut être varié à l'infini et exige beaucoup de réflexion de la part des apprentis.

6° ESSAIS ET EXERCICES DE LABORATOIRE. — Exercices préliminaires pour le montage d'appareils; obtenir pratiquement une résistance, une intensité ou une tension demandés.

Mesures de résistances par la formule d'Ohm, à l'aide d'ohmmètres, d'ampèremètres et de voltmètres.

Mesures d'intensités : à l'aide d'un ampèremètre, d'un voltmètre. Constitution d'un ampèremètre étalon.

Mesures de différences de potentiel, à l'aide de voltmètres par la loi d'Ohm. Constitution d'un voltmètre étalon.

Mesures de puissances électriques et d'énergie, à l'aide d'ampèremètres et de voltmètres, à l'aide d'un wattmètre ou de plusieurs wattmètres suivant les cas.

Branchement des compteurs.

Mesure de la consommation et de l'intensité lumineuse d'une lampe d'un régulateur à arc. Tarage de coupe-circuits.

Essais électrochimiques de cuivre, de nickelage, d'argenture, de dorure.

Essai électrometallurgique. Fusion d'un métal.

Essais électromagnétiques. Force portante d'un électroaimant.

Essais magnétiques de tôles, de fer, de fontes, d'aciers.

Essai d'une génératrice à courant continu.

Essai d'un moteur à courant continu.

Essai d'un alternateur.

Essai d'un transformateur.

Essai systématique des procédés permettant, pour des mesures approchées, de suppléer au manque d'appareils appropriés. Évaluation approximative de l'erreur possible.

V. Horaire pour les travaux manuels. — Les avis sont partagés sur l'horaire à accorder pour l'apprentissage manuel du futur électricien.

Dans certaines écoles pratiques, on a créé une qua-

trième année d'études consacrée exclusivement à la formation de l'électricien, c'est-à-dire que les conseils de perfectionnement estiment que l'apprentissage ne peut être entrepris qu'après trois années passées à l'atelier d'ajustage et après avoir acquis des notions élémentaires de calcul, de sciences, de mécanique qui permettent de comprendre facilement le cours théorique d'électricité industrielle.

Dans d'autres écoles, ces trois premières années passées uniquement à l'ajustage ont paru superflues, l'ouvrier électricien ne rencontrant presque jamais dans la pratique les difficultés de métier que l'ouvrier ajusteur est obligé de résoudre chaque jour et qui constituent, du reste, la caractéristique de sa profession. D'après cette conception, les apprentis électriciens font trois années d'apprentissage comme leurs camarades des autres ateliers et commencent dès leur première année leur préparation pour le métier d'électricien.

Voici, d'après cette deuxième méthode, l'organisation de l'école pratique de X...

PREMIÈRE ANNÉE. — Les deux premiers trimestres sont employés à l'exécution d'une série d'exercices ne nécessitant de la part de l'élève qu'une application purement manuelle, l'enfant qui sort de l'école primaire étant dans l'impossibilité de s'assimiler les premiers principes de l'électricité, même les plus simples.

Le programme comprend des exercices d'ajustage, de forge, de menuiserie, de tuyautage, de ferblanterie, de maçonnerie et de peinture.

Mais, comme l'apprenti exécute tous ces exercices dans l'atelier même d'électricité, sous la conduite du contremaître électricien et guidé par ses conseils, entouré d'appareils électriques de toutes sortes, de tableaux de technologie électrique, en résumé de tout un ensemble de choses, se rapportant toutes à l'électricité, il en résulte que l'élève travaille, dès les premiers jours d'apprentissage, au milieu d'une ambiance extrêmement favorable à faire naître et à développer chez lui un besoin de curiosité, un désir de savoir qui l'amènent insensiblement à vouloir étudier lui-même, après quelques mois, les premières questions abstraites qui seront la base fondamentale de ses futures connaissances théoriques.

On ne met l'élève en présence du courant électrique qu'au début du troisième trimestre. L'enseignement théorique très élémentaire comprend une vingtaine de leçons ayant pour but de donner à l'apprenti la notion de la circulation du courant électrique. On lui confie quelques piles industrielles et, à l'aide de l'ampèremètre et du voltmètre, on s'efforce de lui donner la notion exacte et précise de ce que sont l'ampère, le volt et l'ohm. L'étude de la loi d'Ohm et quelques problèmes faits en commun sur cette règle importante complètent comme il convient ces premières manipulations. Pendant cette période, on n'avance que lentement et seulement lorsqu'on a la certitude que les élèves ont bien compris. Du reste, pour laisser à ces premiers prin-

cipes le temps de se caser en bonne place dans ces jeunes cerveaux, on n'aborde aucune question théorique nouvelle jusqu'à la fin de l'année, le reste du troisième trimestre étant consacré à l'exécution de nouveaux exercices manuels : épissures, montages de piles, fabrication d'une sonnerie,

Pendant cette première année d'apprentissage, le cours de technologie suivi par les élèves électriciens est le même que celui des élèves ajusteurs.

DEUXIÈME ANNÉE. — En deuxième année, les élèves électriciens assistent à un cours d'électricité théorique où sont étudiés les lois du courant continu, les piles et les accumulateurs, l'éclairage électrique; les réseaux de distribution d'électricité.

A l'atelier, l'apprentissage est consacré à l'étude de tout ce qui touche à l'*éclairage électrique* : lampes à arc, étude, réparation, réglage; lampes à incandescence (branchées sur du courant continu et du courant alternatif), groupement et installation de réseaux de lampes avec lignes montées sous moulures et sur poulies, d'après schéma de montage donné; combinaisons variées d'éclairage avec commutateurs de tous types : allumages mixtes pour lustres, chambres d'hôtels, escaliers, couloirs, etc., essais de consommation de lampes à filaments métalliques et de lampes à filaments de carbone, avec étude comparée et critique des unes par rapport aux autres; étude et mise en service d'interrupteurs, de disjoncteurs et d'appareils de sécurité divers relatifs à l'éclairage.

Le temps consacré à la menuiserie, à la tuyauterie, à la ferblanterie, est réduit d'un tiers.

La technologie, faite à l'atelier par le contremaître électricien, traite de tout ce qui concerne les isolants, les résistances, les conducteurs, les divers types de lampes, d'interrupteurs, et de commutateurs. L'étude de la désignation commerciale des fils et câbles conducteurs et la consultation de catalogues industriels de câblerie et d'appareillage électrique achèvent le cours de technologie de deuxième année.

TROISIÈME ANNÉE. — Pendant cette troisième année d'études les élèves électriciens complètent leurs notions théoriques par l'étude des dynamos et des moteurs, des transmissions d'énergie, de la téléphonie, etc.

A l'atelier, l'apprentissage s'attache à tout ce qui a rapport à la *transmission de l'énergie*. Les matériels de production et d'utilisation électriques sont étudiés successivement au point de vue construction, installation, fonctionnement ou entretien : machines à courant continu ou alternatif, transformateurs, bobines de self-induction, condensateurs, parafoudres, limiteurs, disjoncteurs, etc... appareils téléphoniques, télégraphiques, bobines d'induction, etc... appareils de mesures industriels, etc... accumulateurs, etc...

La technologie s'intéresse à tout ce qui touche aux matériaux entrant dans la construction d'une dynamo, d'un moteur ou dans la composition d'une batterie d'accumulateurs.

Telles sont les grandes lignes du programme d'enseignement adopté à l'École pratique de X... pour la formation des ouvriers électriciens. Au programme classique, déjà complet, et pour mieux en relier les différentes parties, on a joint un service d'entretien organisé de la façon suivante : chaque samedi, à l'heure ou les élèves de tous les ateliers assurent le service de propreté de leurs ateliers respectifs, les élèves électriciens sont répartis par leur contremaître dans les différents ateliers de l'école et ont charge de visiter, eux-mêmes, les moteurs des machines-outils qui leur sont désignés ainsi que les rhéostats, de s'assurer que les charbons ne sont pas usés, que les collecteurs, les porte-balais, sont en bon état, que les graisseurs ont leur plein d'huile, que les vis de connexion des fils et câbles ne sont pas desserrés. Ils s'assurent en un mot que tout marche bien, et font le nécessaire, le cas échéant, pour que les appareils électriques qu'ils ont à entretenir fonctionnent comme il convient durant toute la semaine suivante. Au retour de sa visite, chaque élève signale au chef d'atelier les réparations qu'il a faites, celles dont il n'a pu se charger personnellement et qui nécessiteront, pour examen, l'intervention du contremaître. Les élèves ajusteurs, modelers ou forgerons ne touchent jamais à un moteur électrique, pas plus d'ailleurs que leurs contremaîtres respectifs, même pour remettre un plomb fondu et, seul, le service électrique est responsable d'un défaut de fonctionnement des appareils électriques, sauf évidemment le cas de force majeure. De plus, afin d'obtenir l'attention et l'application qu'on doit exiger de ces jeunes électriciens pour cette importante et intéressante visite hebdomadaire, le contremaître électricien, sans en informer personne, desserre de temps à autre et à dessein, une cosse de moteur ou de rhéostat, coupe un fil, établit un mauvais contact, crée une panne quelconque que l'élève doit lui signaler s'il a consciencieusement opéré la visite dont il était chargé.

J'ajouterai, comme conclusion, que l'application de ce programme a donné, au point de vue utilitaire, les résultats pratiques les plus encourageants, car, bien que depuis leur création les ateliers de l'École envisagée n'aient jamais eu à faire appel à l'industrie privée jusqu'en 1914, ni pour l'installation des appareils électriques, pas plus que pour leur conduite et leur entretien, ils n'ont eu à souffrir d'aucun arrêt dû à une défaillance ou à l'insuffisance du service électrique ainsi organisé.

Quant au matériel électrique de cette école, il est des plus importants et comprend les différents types de moteurs, des lampes à arc, à incandescence.

Le plan d'enseignement admis à l'École pratique de X... répond aux besoins du milieu industriel qui de-

mande à l'électricien d'être avant tout électricien parce que les usines de la région se trouvent bien pourvues en mécaniciens de tous ordres.

A l'École pratique de Y... le Syndicat professionnel des Industries électriques a proposé un programme qui diffère très peu du précédent ; il se contente de renforcer à l'atelier le temps consacré aux travaux de mécanique, pour arriver à former l'électricien-mécanicien réclamé pour les montages et les exploitations industrielles où la commande électrique se substitue à la commande mécanique.

Suivant les deux conceptions, les deux projets d'horaires pour les travaux d'atelier des élèves électriciens pourraient être les suivants :

1° *Les élèves font une quatrième année d'études entièrement consacrée à la formation de l'apprentissage d'ouvriers électriciens.*

| | | |
|---------------------------------------------|-----|----------------------|
| Ferblanterie, plomberie et tuyauterie | 70 | séances de 2 heures. |
| Maçonnerie | 10 | id 2 id |
| Peinture | 10 | id 2 id |
| Manutention | 10 | id 2 id |
| Travaux électriques | 400 | id 2 id |
| Total | 580 | séances de 2 heures. |

soit 1 000 heures de travail qui peuvent être réparties aisément sur 35 semaines de scolarité avec un minimum de 30 heures par semaine.

Il est entendu que la durée des séances peut être augmentée et portée à 3 heures et même 4 heures.

2° *Les élèves font trois années d'apprentissage pour devenir ouvriers électriciens.*

| | 1 ^{re} ANNÉE | | 2 ^e ANNÉE | 3 ^e ANNÉE | |
|---------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| | 1 ^{er} semestre | 2 ^e semestre | | 1 ^{er} semestre | 2 ^e semestre |
| | heures | heures | heures | heures | heures |
| Menuiserie | 100 | 200 | 100 | 250 | |
| Ajustage et forge .. | | 300 | 300 | | |
| Ferblanterie, plomberie et tuyauterie | | 120 | 50 | | |
| Maçonnerie | | 20 | | | |
| Peinture | | 20 | | | |
| Travaux d'électricité | | 40 | 350 | 250 | 700 |

(A suivre.)

E. LABBÉ,

Directeur de l'Enseignement technique
au Sous-Secrétariat de l'Enseignement technique.

SECTION DE LÉGISLATION

La nouvelle loi de finances, exigibilité des impôts, date des réclamations, modifications

La loi de finances du 31 décembre 1921 (Journal officiel du 1^{er} janvier 1922) contient, dans ses articles 18, 19, 20, des innovations intéressantes sur la date d'exigibilité des impôts directs. Si étrange que cela puisse paraître, lesdits articles ont pour but de simplifier et de faciliter, dans une certaine mesure, les conditions de paiements : à ce simple titre, ils mériteraient d'être remarqués. De plus, ils seront féconds en applications pratiques.

I. Historique de la législation jusqu'au 1^{er} janvier 1922. — Le grand principe admis au moment de la création de l'impôt direct était celui du paiement par douzièmes. L'article 146 de la loi du 3 frimaire an VII déclarait : « la cotisation de chaque contribuable est divisée en douze portions égales et payables de mois en mois. Nul ne peut être contraint que pour les portions échues. » Cette règle était écrite pour l'époque où les feuilles étaient envoyées dès le mois de janvier au contribuable (1).

Certaines exceptions étaient venues se greffer sur cette législation qui, néanmoins, est restée, pendant longtemps, la base juridique du recouvrement fiscal. Parmi ces exceptions, la plus ancienne a été faite en matière de patente ; l'article 29 de la loi du 15 juillet 1880 avait décidé que, si le rôle était publié après le 1^{er} mars, les mensualités échues ne seraient pas immédiatement exigibles ; le paiement de la cote tout entière s'effectuerait en divisant son montant total en autant de mensualités qu'il y aurait de mois à courir, y compris celui de la publication.

Si déjà, en 1880, on a trouvé suranné le régime des douzièmes, parce que les feuilles de patente arrivant au contribuable à un moment où l'année est fortement entamée, il est injuste de le grever du paiement immédiat des douzièmes échus à ce moment, que faudrait-il en penser pour les impôts nouvellement créés depuis la guerre, qui tous supposent une déclaration préalable à la fixation du montant total ; or, cette déclaration, ne peut intervenir que le 31 mars au soir ; et il faut encore

à l'administration le temps de faire ses calculs ; la difficulté s'exacerba encore quand les agents des contributions devinrent incapables, à cause d'un travail intensif et des vides créés dans leurs rangs, de rédiger les avertissements afférents à une année avant le commencement de l'année suivante. Le contribuable pouvait se trouver contraint, au cas où le retard pour cette dernière année aurait été réparé, de recevoir deux avertissements : année écoulée et année courante. Les douze douzièmes pour l'année écoulée auraient été immédiatement exigibles et le paiement aurait été non moins immédiatement augmenté de tous les douzièmes échus pour l'année courante.

La loi du 31 décembre 1918 avait essayé de remédier à cet inconvénient : il est inutile de trop s'étendre sur les innovations qu'elle a créées, puisque le système inauguré il y a trois ans est remplacé par d'autres textes, aussi bien que tout système antérieur. Résumons-les seulement, en disant qu'elles avaient pour caractéristiques : la suppression de la notion du douzième, la possibilité d'acquitter le total de l'avertissement en autant de fractions qu'il restait de mois à échoir et, pour le cas où le rôle serait publié avant le 31 octobre, la faculté de se libérer en trois paiements, le premier devant être effectué avant la fin du mois suivant celui de la publication du rôle.

La loi du 31 décembre 1921 commence par reprendre en le généralisant et en le transformant le système de la loi du 31 décembre 1918 ; elle modifie aussi le point de départ des réclamations.

II. Dates des exigibilités. — Le nouveau texte (art. 18) est ainsi conçu :

« Les contributions directes, les taxes assimilées, l'impôt général sur le revenu, ainsi que les impôts cédulaires recouvrés comme en matière de contributions directes sont exigibles mensuellement à partir du premier jour du mois qui suit la publication du rôle, et en autant de fractions égales qu'il reste de mois à courir depuis ce jour jusqu'à la fin de l'année. Toutefois, lorsque le rôle a été publié postérieurement au 31 août,

(1) D'après le décret du 16 thermidor an VIII, on ne saurait imposer au percepteur de recevoir le paiement d'une fraction plus faible que le douzième, et d'après des règlements en date du 26 août 1824 et 31 décembre 1839 l'époque d'exigibilité du douzième afférent à chaque mois a son point de départ au premier jour du mois suivant, contrairement aux habitudes de l'ancien régime qui fixait au dernier jour du mois l'exigibilité du douzième afférent à ce mois. L'article 3 de la loi du 17 brumaire an V donnait au percepteur le droit de commencer les poursuites dix jours après l'échéance. Voir les textes précités dans DALLOZ, *Code des lois politiques et administratives annoté*, t. IV, p. 47-51.

les contributions sont exigibles mensuellement en quatre fractions égales.

« Si, à la date où la moitié au moins des fractions calculées conformément à la règle ci-dessus est devenue exigible, le contribuable ne s'est pas acquitté du montant des fractions échues, il peut être poursuivi pour la totalité de la contribution.

« Ces dispositions ne s'appliquent pas dans tous les cas où l'exigibilité de l'impôt est déterminée par des dispositions législatives spéciales. »

Insistons, tout d'abord, sur le *dernier* paragraphe : car nous avons la crainte très légitime qu'une lecture rapide fasse croire à un changement dans les dates d'exigibilité même de l'impôt dit des bénéfices de guerre. Il est bien entendu que tout impôt, même direct qui a une législation *spéciale* (et certainement la loi du 1^{er} juillet 1916 avec les nombreux textes qui l'ont suivie mérite bien cette épithète) ne rentre pas dans le cadre de la loi du 31 décembre 1921.

Ceci dit, nous croyons que la sphère du *premier* paragraphe de l'article 18 sera précisée par des exemples plus clairement que par d'autres moyens.

Supposons que nous recevions un avertissement d'avoir à payer au percepteur une somme de 9 000 fr, pour l'année 1922, et que cet avertissement nous parvienne le 8 mars pour un rôle publié le 1^{er} mars ; puisqu'il est dit, dans l'article précité, que l'exigibilité ne commencera que le premier du mois suivant la publication, nous savons que jusqu'au 1^{er} avril nous ne devons rien.

Et à cette date, au lieu de devoir immédiatement, comme sous le régime des douzièmes, les trois douzièmes échus, sauf à payer ensuite mois par mois les neuf autres douzièmes, nous aurons à retenir cette double règle : a) nous ne devons rien payer pour les trois mois écoulés ; b) pour l'avenir, nous paierons, mois par mois, le quotient du total fixé pour l'année, par le nombre de mois restant à courir, c'est-à-dire que, pour chacun des neuf mois à venir, nous devons payer : $9\,000 : 9 = 1\,000$ fr.

Seulement, le législateur a été sage de prévoir qu'un avertissement arrivant avant le 30 août (notamment en ce qui concerne les impôts établis d'après des déclarations) constitue une pure chimère : il paraît même avoir envisagé cette date comme la première que l'on puisse prévoir : et, pour régler le montant de tout l'avertissement, il donne au contribuable qui reçoit celui-ci après le 31 août, par exemple, en septembre, le droit d'effectuer le paiement en quatre mensualités ; la date d'exigibilité et de la première mensualité est assez obscure : elle se placera certainement au mois d'octobre, mais pas plus tard, si — comme nous le pensons — on doit appliquer dans tous les cas le principe que le contribuable ne doit rien pendant le mois de la publication du rôle ; le mois de septembre serait exempt de tout paiement ⁽¹⁾ et les fractions s'échelonnent ainsi :

(1) Il est très difficile d'avoir des idées absolument nettes sur la date d'exigibilité de la première mensualité. Cela provient de l'incertitude dans laquelle nous laissent les travaux

première fraction en octobre, deuxième en novembre, troisième en décembre, quatrième en janvier, chaque fraction étant du quart de 9 000 fr, soit de 2 250 fr.

Mais le législateur qui se considère comme ayant fait une faveur au contribuable a décidé de lui supprimer, dans tous les cas, le bénéfice du terme accordé, si la moitié au moins des fractions calculées d'après les règles ci-dessus est laissée impayée. Dans notre exemple, pour un rôle publié le 1^{er} mars, nous serions susceptibles d'être poursuivis pour la totalité, si nous avions négligé de payer la moitié des mensualités de 1 000 fr qui, au total, forment 9 000 fr ; l'exigibilité dudit total serait encourue fin août, date à laquelle nous devrions cinq mensualités de 1 000 fr. Dans le cas d'un rôle publié en septembre, nous ne pourrions être poursuivis qu'en décembre ayant laissé impayées deux mensualités de 2 250 fr chacune, soit 4 500 fr sur 9 000 fr.

III. Délai des réclamations. — Pour qu'une réclamation puisse se produire, il faut que le contribuable connaisse la somme qui lui est réclamée et qui, pratiquement, lui est révélée par un avertissement.

Mais comment est créé cet avertissement ? Et quand il a été reçu, comment connaître le point de départ et le point final qui constituent le délai pendant lequel chacun de nous peut réclamer.

Les notions suivantes sont nécessaires, mais suffisantes, pour l'intelligence des principes pratiquement indispensables.

Tout avertissement est extrait d'un *rôle* ; le langage fiscal désigne par ce mot une expédition résumée des matrices qui sont établies chaque année dans les directions des contributions directes ; on peut tout aussi bien le définir : un état collectif du Trésor contre les contribuables qui, quand il a été *émis* et *publié*, devient un titre exécutoire. L'*émission* consiste dans l'inscription, au bas du rôle, d'une formule exécutoire, revêtue de la signature du préfet qui le fait parvenir au per-

préparatoires qui, sur le point que nous traitons dans le présent article, sont d'une lamentable pauvreté. Comment les Chambres ont-elles pu admettre cet article dans la dernière loi de finances ? Elles n'en avaient pas été saisies tout d'abord. Il n'y en a pas trace dans le projet du budget déposé le 8 juillet 1921. (Doc. Parl., n° 3068). On le chercherait vainement dans les dispositions rapportées par M. Bokanowski (Doc. Parl., n° 3160, p. 2435). À la deuxième séance du 14 décembre, la loi de finances est appelée ; l'article est lu par le président de la Chambre et sans aucune observation est voté (*Journal officiel*, du 15. Débats parlementaires, Chambre, p. 5084). D'où sort-il ? Une lettre du ministre des Finances l'avait soumise le 9 novembre à la Commission des Finances de la Chambre, en même temps que plusieurs adjonctions au projet de loi primitif. Dans un rapport supplémentaire déposé le 7 décembre par M. Bokanowski, l'article était cité, appuyé d'une note favorable. La séance du 14 décembre fut longue, puisqu'elle ne se termina, comme le fait remarquer le journal « Le Temps » du 11 janvier 1922 que le lendemain matin à 8 heures moins 10 minutes ; au Sénat, le rapport de M. Chéron avait demandé la disjonction ; elle est acceptée le 30 décembre à 22 heures ; la séance se termine le 31 à 7 heures du matin ; dans la journée la Chambre réincorpore ; le soir le Sénat en fait autant...

cepteur en le chargeant du recouvrement. La *publication* est l'affichage qui a lieu à la diligence du maire à l'endroit consacré par l'usage. L'affiche porte avertissement aux contribuables que le rôle est entre les mains du percepteur et que tout assujéti à l'impôt doit acquitter la somme qui est mentionnée sous son nom.

Autrefois, cette publicité par l'affichage devait être assurée le premier dimanche suivant la réception du rôle par le percepteur. La nouvelle loi donne un délai un peu plus grand en indiquant le troisième dimanche à compter de la remise. C'est une facilité pour le service intérieur des communes ; en tout cas, l'article 19 est formel : » La publication des rôles de contributions directes effectuée dans les formes prévues par la loi du 4 messidor an VII (article 5) aura lieu le troisième dimanche qui suivra la remise de ces rôles au percepteur. » (1).

Il semble bien qu'aux premiers jours de notre régime fiscal, la publication du rôle par affichage fut considérée comme suffisante pour avertir les contribuables de ce qu'ils avaient à payer. En tous cas, deux lois du 15 mai 1810 et du 25 mars 1817 ont-elles précisé les conditions dans lesquelles les contribuables doivent être avisés individuellement du montant de leur dette. C'est la feuille blanche que chacun connaît et qui porte à l'angle de gauche la date de l'affichage (ou de la publication, ce qui est synonyme) ; ces avertissements sont établis par la Direction départementale des Contributions, envoyés par ses soins à chaque percepteur qui en fait la distribution par la poste aux frais du contribuable (0,05 fr). Ils constituent (dit *Dalloz*, loco citato) une notification officieuse de ce que doit le contribuable ; d'où la conséquence que la non-réception de l'avertissement ou même son contenu mal rédigé (par exemple oubli de la mention de la publication du rôle) ne constituent pas des excuses valables. (*Dalloz*, loco citato, n° 1382 et suivants).

La réclamation du contribuable, d'après l'article 28 de la loi du 21 avril 1832 (qui avaient été sur certains points corrigé par la loi du 6 décembre 1897) doit être rédigée sur timbre et contenir des motifs. Elle devait être envoyée au préfet et au sous-préfet dans les trois mois à compter de la « publication du rôle ».

(1) Il est extrêmement difficile, quand on n'a pas l'habitude de la législation fiscale, de se reconnaître dans cette multiplicité de textes. Nous pouvons indiquer sommairement ce qui suit : la loi organique des contributions directes (ou tout au moins de la principale qui est la contribution foncière) est la loi du 3 frimaire an VII (23 novembre 1798) ; elle a été suivie d'une foule d'autres lois ; celle du 4 messidor an VII (22 juin 1799) constitue le texte qui a réglé tout particulièrement la question de la publication du rôle ; la question de l'émission a été plus spécialement traitée un peu plus tard par l'arrêté du 16 thermidor an VIII (4 août 1800) (Voir *Dalloz*, *Code des lois politiques et administratives* annoté, p. 45). C'est l'arrêté de thermidor an VIII qui a répété le principe de l'exemption de tout timbre de quittance pour l'accusé de réception des sommes versées au Trésor ; il était d'ailleurs contenu dans l'article 140 de la loi du 3 frimaire, an VII.

L'article 20 de la loi du 31 décembre 1921 change, non pas la durée de ce délai qui est toujours de trois mois, mais son point de départ qu'il fixe, non pas à la date de la publication du rôle, mais au premier jour du mois qui suit celui de la publication.

Il est ainsi conçu : « Le délai de trois mois fixé pour les réclamations par l'article 28 de la loi du 21 avril 1832 et l'article 8 de la loi du 4 août 1844, part du premier jour du mois qui suit la publication du rôle » (1).

IV. La réclamation ne supprime pas l'obligation du paiement. — Sur l'effet non suspensif de la réclamation, en ce qui concerne le paiement, la législation n'est en rien modifiée, et c'est à ce point de vue surtout que les contribuables auraient demandé un changement pratique.

Théoriquement, on peut, en prenant certaines précautions dans la réclamation, se réserver le droit de ne pas payer une fraction de l'impôt (celle qui correspond à la détaxe que l'on demande), mais on va voir à quelle difficulté on se heurte.

La loi du 21 avril 1832 avait donné au contribuable réclamant la possibilité de ne payer que les termes échus au moment de sa réclamation, et les termes venant à échoir dans les trois mois à compter de celle-ci. Comme les feuilles à cette époque arrivaient presque au début de l'année, le contribuable qui s'estimait surtaxé n'avait qu'à réclamer immédiatement : pendant trois mois, il payait les mensualités au fur et à mesure de leur échéance. L'Administration était censée devoir juger dans le délai de trois mois ; passé celui-ci, elle était considérée comme ayant manqué à son devoir ; la sanction que lui infligeait le contribuable était la suspension de tout paiement.

La loi du 13 juillet 1903 qui, malheureusement, n'est en rien touchée par la loi du 31 décembre 1921, tout en laissant l'obligation de payer ce qui est échu au moment de la réclamation, a innové à différents points de vue :

1° Il faut que le contribuable indique dans sa réclamation même qu'il entend faire usage d'une suspension de paiement ;

2° Il doit chiffrer lui-même le dégrèvement qu'il sollicite ou la base de ce dégrèvement ;

3° Le paiement de tout ce qui est échu au moment où il fait sa réclamation, est obligatoire ;

4° Et le paiement de ce qui est dû, d'après l'avertissement, doit encore être payé pendant six mois ;

5° C'est également après ce délai que, si la réclama-

(1) C'est par un scrupule d'exactitude que l'article précité a donné le texte de la loi du 21 avril 1832 et de l'article 8 de la loi du 4 août 1844. C'était inutile, pour ce motif que, si la première de ces lois avait fixé le point de départ du délai à la date de l'émission du rôle, et si la seconde a, par modification, fixé le point de départ à la date de la publication, l'article 28 de la première loi a été complètement refondu et modifié par la loi du 6 décembre 1897 ; il aurait donc suffi de le viser, car, quand on cite un article, on indique, par la même qu'on le prend dans la dernière rédaction qui lui a été donnée.

tion n'est pas jugée, le contribuable aura le droit de ne pas payer la partie afférente au dégrèvement sollicité, le reste continuant à être dû. (C'est ce qui est dit dans le paragraphe ainsi conçu de la loi du 3 juillet 1903 : « Lorsqu'une réclamation n'aura pas été jugée dans les six mois qui suivront sa présentation, le contribuable aura la faculté, dans la limite du dégrèvement sollicité par lui, de différer le paiement des termes qui viendront à échoir sur la contribution contestée à la condition d'avoir préalablement, dans sa demande, manifesté cette intention et fixé le montant ou la base du dégrèvement auquel il prétend. » Voir ce texte dans *Dalloz*, 1903, 4, 76.) Mais il sera démontré rapidement par un exemple que la formule de cette loi

ne donne et ne peut donner aucun résultat pratique.

Supposons un avertissement de 12 000 fr arrivant en juin, ce qui est relativement tôt, surtout pour un impôt basé sur des déclarations ; supposons qu'immédiatement le contribuable fasse sa réclamation pour avoir un dégrèvement assez faible de 1 000 fr ; comme le rôle a été publié en juin, il doit payer par sixièmes à partir du 1^{er} juillet ; et, comme d'autre part, il ne peut suspendre son paiement qu'après six mois d'attente de la décision à intervenir, il aura payé les six sixièmes, soit la totalité quand sa réclamation sera jugée. Car, quelle est la réclamation qui est examinée avant six mois?...

Paul BOUGAULT,
Avocat à la Cour d'appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur l'évaluation des impôts concernant le matériel et les immeubles industriels.

Le « Journal officiel » du 22 février 1922 publie à ce sujet, p. 479 des « Débats parlementaires, Chambre » les questions et réponses qui suivent :

11 717. — M. d'Aubigny, député, demande à M. le ministre des Finances si le taux d'intérêt applicable à la valeur vénale d'un matériel industriel pour en dégager la valeur locative doit comprendre seulement : 1° le taux moyen de placement du capital constitué par la valeur vénale ; 2° le taux d'amortissement que le matériel comporte en raison de sa durée, ou s'il doit comprendre également un certain quantum destiné à tenir compte des frais d'entretien. (Question du 19 janvier 1922.)

Réponse. — Ceux des frais d'entretien d'un matériel industriel qui doivent être considérés comme constituant une charge normale du propriétaire entrent dans les éléments dont se compose la valeur locative dudit matériel. Si, dès lors, à défaut d'acte de location ou de points de comparaison, cette valeur locative ne peut être évaluée que par l'application à la valeur vénale d'un taux d'intérêt approprié, il convient de déterminer ce taux d'intérêt en majorant le taux moyen de placement de l'argent d'une quotité suffisante pour tenir compte non seulement des frais d'amortissement, mais aussi des frais d'entretien envisagés.

11 718. — M. d'Aubigny, député, demande à M. le ministre des Finances si, lors de la prochaine révision des revenus fonciers, l'administration considérera que, dans une entreprise industrielle, le taux d'amortissement à prendre en considération pour l'évaluation de la valeur locative, base du revenu net foncier, et l'annuité d'amortissement à comprendre dans les charges déductibles du bénéfice brut en matière d'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux

doivent être calculés sur un même nombre d'années, correspondant à la durée probable du matériel, ou que l'assiette de chaque impôt peut s'établir d'après un nombre d'années différent. (Question du 19 janvier 1922.)

Réponse. — Lorsqu'il s'agira de reviser les bases de la contribution foncière, l'administration tiendra compte, pour la détermination de la valeur locative du matériel industriel soumis à l'impôt, de l'état effectif de ce matériel au moment des opérations de révision et de la diminution de valeur qu'il paraîtra devoir subir, par suite de déperissement, au cours de la nouvelle période décennale. Il n'est pas nécessaire que l'annuité d'amortissement ainsi dégagée concorde avec celle qui résulte du plan d'amortissement arrêté par l'exploitant et accepté par l'administration pour l'établissement de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux.

11 719. — M. d'Aubigny, député, expose à M. le ministre des Finances le cas d'un industriel qui, ayant acheté un matériel, s'est mis d'accord avec l'administration pour l'amortissement de ce matériel en une période de dix ans pour ce qui concerne tant le calcul de la valeur locative qui sert de base à l'impôt foncier, que la déduction des charges en vue de la fixation de l'assiette de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux, et demande comment devra s'établir l'impôt foncier à la suite de la première révision décennale qui suivra l'achèvement de la dixième année si le matériel, au lieu de durer dix ans a réellement une durée plus longue et se trouve toujours en service chez l'industriel. (Question du 19 janvier 1922.)

Réponse. — Si, au moment de la révision des évaluations, le matériel amorti est toujours en service, il comporte, par suite, une valeur locative, et c'est cette valeur locative qui sera retenue pour le calcul du revenu net devant servir de base à l'impôt foncier au cours de la nouvelle période décennale.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité
réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 11.

18 MARS 1922.

Chronique. — Bibliographies : La fraude, la sinistrose et les médecins marrons dans les accidents du travail, par Edmond de GISCARDE; La télégraphie sans fil des amateurs, par Franck DUROQUIER; Les principes de l'analyse chimique, par Victor AUGER; Manuel de l'électricien; Le choix d'un métier et les aptitudes physiques, par Julien FONTÈGNE; Manuel pratique de l'ouvrier électricien mécanicien, par L. STERNBERG; Annuaire pour 1922 de la Société amicale des Ingénieurs de l'École supérieure de l'Électricité, p. 377-378.

Section scientifique et technique. — Corollaires des lois de Kirchhoff, principe de la superposition des états d'équilibre, par C. DUPRÈNE, p. 379. — Quelques remarques concernant les feuillets magnétiques, par A. LIÉNARD, p. 382. — Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? par E. BRYLINSKI, p. 384. — Revues, analyses et informations : Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? p. 385; Recherches sur le paramagnétisme, p. 387; Sur un type d'hystérésis des oscillations dans un générateur simple à trois électrodes, p. 388.

Section industrielle. — Le prix de revient du labourage, par Ach. DELAMARRE, p. 389. — Quelques coefficients de sécurité pratiques au sujet des isolateurs suspendus de différents modèles, par Paul TESTARD, p. 393. — Revues, analyses et informations : Procédé pratique pour la localisation du point de rupture d'un câble triphasé, p. 398; Conceptions physiques du fonctionnement du moteur asynchrone, p. 402; Le magnétron, p. 404.

Section économique et financière. — Rôle de l'école pratique et des cours professionnels dans les industries électriques (suite et fin), par E. LABBÉ, p. 405. — Assemblées générales : Société centrale pour l'Industrie électrique, p. 414.

Section de législation. — Le nom commercial, par FERNAND-JACQ, p. 415.

Bibliographie : La fraude, la sinistrose et les médecins marrons dans les accidents du travail, par Edmond de GISCARDE ⁽¹⁾, chef du service médical des usines X, avec préface du docteur Balthazard, membre de l'Académie de Médecine, professeur de médecine légale. — L'auteur se propose de montrer les abus auxquels a donné lieu, de part et d'autre, la loi sur les accidents du travail. C'est une étude pratique qui s'adresse non seulement à tous les industriels, mais aussi à tous ceux qui s'occupent des accidents du travail, soit comme assurés, soit comme assureurs, soit même comme médecins. Ancien chef du service médical de grandes usines de la région parisienne, le docteur de Giscarde a exposé ce qu'il a vu, ce qu'il a fait et les moyens de combattre les abus devenus trop criants. Ainsi que le déclare dans sa préface le docteur Balthazard, « les abus signalés sont bien connus de tous ceux qui ont été appelés à examiner des ouvriers victimes d'accidents ou se prétendant victimes d'accidents de travail. Ce livre fourmille de documents précis que consulteront avec profit les assureurs, les patrons et les médecins experts. Nous approuvons sans réserve l'initiative décrite par M. de Giscarde qui a organisé dans une grande entreprise un contrôle médical immédiat des blessures accidentelles; nous sommes convaincu que les compagnies d'assurances récupéreront largement les dépenses d'installation par la diminution des indemnités pour frais médicaux et pour incapacité, temporaire ou permanente ». Cet ouvrage démasque les fraudeurs et les exploités de la loi sur les accidents du travail, indique les moyens de se défendre contre

eux et, enfin, contient une description très complète de tous les accidents et maladies qui peuvent se présenter dans une exploitation, ainsi que la manière de reconnaître la supercherie et la fraude. — B. C.

Bibliographie : La télégraphie sans fil des amateurs, par Franck DUROQUIER. Manuel pour la construction et l'utilisation des appareils récepteurs de télégraphie sans fil par ondes amorties et par ondes entretenues ⁽¹⁾. — Parmi les découvertes scientifiques, il en est qui sont plus facilement accessibles au grand public à cause de la simplicité de l'appareillage qu'il faut mettre en œuvre. La télégraphie sans fil a joué, dès ses débuts, d'une vogue incomparable parce que la réception de l'heure envoyée par la tour Eiffel n'exigeait qu'une installation des plus modestes; avec la téléphonie sans fil, la curiosité sera doublement éveillée par la publication du bulletin météorologique parlé et, dans un avenir qui n'est pas très éloigné, par la possibilité d'entendre, chez soi, un concert musical joué à plusieurs centaines de kilomètres de distance. Il est certain que le matériel va se compliquer, mais les vrais amateurs n'en persisteront pas moins à vouloir construire eux-mêmes leurs appareils. C'est pour leur éviter les tâtonnements du début que M. Franck Duroquier a écrit ce petit livre à leur intention. Tous les dispositifs qui y sont décrits ont été préalablement construits, essayés et mis au point dans son laboratoire avec les seules ressources dont peut disposer un amateur; le moindre schéma de montage proposé y a fait l'objet d'une étude attentive et

⁽¹⁾ 1 volume, format 24 cm X 15 cm, de viii et 230 pages, avec 2 planches hors texte, 1 graphique et 4 tableaux de statistiques, édité par l'Usine, 145, faubourg Saint-Denis, Paris. Prix, broché : 10 fr.

⁽¹⁾ Un volume, format 18 cm X 11 cm, de xi-399 pages, avec 315 figures dans le texte, édité par Masson et Cie, 120, boulevard Saint-Germain, Paris (VI^e). Prix, broché : 10 fr.

d'essais comparatifs scrupuleusement contrôlés. Le lecteur peut ainsi suivre de confiance les directions qui lui sont données. Ajoutons que cet ouvrage a aussi une valeur scientifique, parce que l'auteur ne se contente pas seulement de décrire les appareils, mais s'étend encore longuement sur la théorie de leur fonctionnement. — B. C.

Bibliographie : Les principes de l'analyse chimique, par Victor AUGER, maître de conférences à la Sorbonne (1). — Pendant longtemps on a considéré que l'analyse chimique était constituée par des réactions et des recettes, purement empiriques.

Ostwald, le premier, a rompu cette routine par son opuscule sur les principes de l'analyse chimique. Depuis lors, certains auteurs ont accordé une petite place dans leurs traités d'analyse aux notions théoriques les plus élémentaires ; mais, pressés par la nécessité d'insister sur la pratique, ils ont dû restreindre à quelques pages l'étude des principes.

Il y avait là une importante lacune dans l'enseignement de la chimie en France. M. Auger l'a comblée en condensant dans ce petit traité tout ce qu'une expérience de vingt années d'enseignement lui a appris à regarder comme nécessaire au chimiste qui veut connaître, comprendre et même perfectionner les méthodes analytiques.

Aux débutants, ce livre montrera le lien qui enchaîne des réactions en apparence indépendantes ou qui semblent même contradictoires.

A ceux qui possèdent déjà une longue habitude de la pratique, il donnera la clé des méthodes anciennes et leur apprendra à mieux connaître quelques nouvelles méthodes dont ils sont quelquefois trop enclins à se méfier.

Bibliographie : Manuel de l'électricien ; installations électriques particulières (2). — Dans cet ouvrage, l'auteur a cherché à condenser tous les éléments nécessaires à l'établissement d'une installation d'éclairage électrique.

Il s'adressera aussi bien à l'ouvrier qu'au technicien et les quelques formules mathématiques qu'il contient n'ont pour objet que de compléter les notions techniques indispensables.

Le premier chapitre décrit les différents modes de distribution de l'électricité.

Dans le deuxième chapitre, l'auteur étudie l'installation proprement dite, compteurs, circuits d'éclairage, lampes, répartition des foyers lumineux, calculs des conducteurs, exemples d'installations.

Le troisième chapitre groupe les montages pratiques, et tout ce qui a trait à l'exécution de l'installation.

Dans la dernière partie, deux chapitres sont consacrés, l'un à l'étude des appareils de chauffage, l'autre au montage des sonneries et des tableaux indicateurs.

Bibliographie : Le choix d'un métier et les aptitudes physiques, par Julien FONTÈGNE, directeur du Service régio-

nal d'Orientation professionnelle pour l'Alsace-Lorraine (4). — L'auteur a voulu montrer, dans cette brochure, le rôle important que doit jouer l'examen médical à l'entrée d'un enfant dans une carrière.

Il envisage successivement toutes les particularités physiques et indique en regard toutes les indications ou les contre-indications qu'elles comportent pour le choix d'un métier.

M. Fontègne examine ainsi l'ossature, la taille, la prédisposition à l'anémie, la vue, l'ouïe, l'odorat, le toucher, le système nerveux, le cœur, les voies digestives, respiratoires, etc...

Bibliographie : Manuel pratique de l'ouvrier électricien mécanicien, principes, fonctionnement, conduite et entretien des machines électriques, nouvelle traduction et adaptation française de l'ouvrage de Ernst SCHULZ, par L. Sternberg, ingénieur de l'Ecole supérieure d'Electricité (2). — Cet ouvrage est un exposé simple de la théorie des machines électriques. L'auteur s'est attaché à exclure de ses démonstrations toutes les formules compliquées pour rendre ce livre d'une lecture facile et s'adressant aussi bien à l'ingénieur par la précision de l'exposé, qu'à l'ouvrier par sa clarté.

A côté de chapitres sur la théorie proprement dite, se trouvent quelques chapitres envisageant le côté pratique de la question : dérangements des machines, interprétation des résultats d'essais, rendement, ainsi que quelques conseils sur les caractéristiques à choisir dans une série de machines en vue d'une application déterminée.

Bibliographie : Annuaire pour 1922 de la Société amicale des Ingénieurs de l'Ecole supérieure d'Electricité (3). — Cet annuaire pour 1922 contient la liste des membres du bureau et des commissions de la Société et celle des anciens élèves de l'Ecole morts pour la France ; les nouveaux statuts établis en vue de la déclaration d'utilité publique ; la liste complète des membres de la Société avec leurs adresses et situation d'après les derniers renseignements ; une liste des membres de la Société classés d'après la nature de leurs occupations ; une liste des mêmes membres classés par région ; une liste par promotion de tous les ingénieurs de l'Ecole avec les adresses de ceux qui ne font pas partie de la Société ; enfin, une liste générale des anciens élèves de l'Ecole par ordre alphabétique.

Cette brochure, dans laquelle sont inscrits plus de 2 000 noms et plus de 1 500 adresses d'ingénieurs, est appelée à rendre les plus précieux services, non seulement aux adhérents de cette importante et très active Société qui a fêté récemment l'inscription de son millième membre, mais encore aux industriels et à toutes les personnes qui s'intéressent à la science et à l'industrie électrique.

(1) Une brochure format 19 cm × 12 cm, 48 pages, éditée par M. Ravisse, 52, rue des Saints-Pères, Paris. Prix : 2,75 fr.

(2) Une brochure, format 21 cm × 14 cm, 306 pages, 153 figures, éditée chez Dunod, 47-49, quai des Grands-Augustins, Paris. Prix : 12 fr.

(3) Une brochure, 24 cm × 16 cm, 104-44 pages, éditée par la Société amicale des Ingénieurs de l'Ecole supérieure d'Electricité, 14, rue de Staël, Paris (XV^e). Prix : 5 fr.

(1) Un volume, format 18 cm × 11 cm, 224 pages, 77 figures, édité par Armand Colin, 103, boulevard Saint-Michel, Paris. Prix : broché, 5 fr. ; relié, 6 fr.

(2) Un volume, format 16 cm × 11 cm, 274 pages, 147 figures, édité par J.-B. Baillière et fils, 19, rue Hautefeuille, Paris. Prix : 8 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Corollaires des lois de Kirchhoff

Principe de la superposition des états d'équilibre

Les propriétés rappelées ci-dessous ont été signalées, il y a déjà longtemps : on les trouve dans les ouvrages de physique classiques (celui de M. Bouasse, par exemple) ; mais leurs applications pratiques paraissent fort peu connues ; ce sont pourtant des théories susceptibles de rendre de grands services à l'ingénieur : elles permettent souvent d'éviter, par un raisonnement simple, des calculs algébriques fastidieux.

I. États d'équilibre. — Considérons un circuit complexe composé de n branches disposées de façon quelconque et dont les résistances ont respectivement pour valeurs, r_1, r_2, \dots, r_n .

Ces diverses branches renferment des forces électromotrices e_1, e_2, \dots, e_n et sont traversées par des intensités i_1, i_2, \dots, i_n .

On convient d'appeler *état d'équilibre* du système un ensemble de valeurs des intensités et des forces électromotrices physiquement compatibles, c'est-à-dire satisfaisant aux deux lois de Kirchhoff

$$\begin{aligned} \sum i_k &= 0 \text{ pour chaque nœud de conducteurs,} \\ \sum (r_k i_k - e_k) &= 0 \text{ pour chaque circuit fermé.} \end{aligned}$$

La forme linéaire des équations de Kirchhoff montre de suite que la superposition de deux états d'équilibre est un état d'équilibre

En appliquant cette propriété, on doit, dans chaque branche, ajouter respectivement les forces électromotrices et les intensités, mais les résistances doivent rester invariables. En particulier, si certains des états d'équilibre considérés font intervenir des forces électromotrices nulles, il ne faut pas oublier que les branches correspondantes doivent rester fermées ; en d'autres termes, les piles supprimées doivent être remplacées par des résistances équivalentes (exemples : § IV et § V).

II. Générateur complexe. — Dans le réseau complexe dont nous venons de nous occuper, considérons deux points quelconques A et B. Dans le cas général, il existera entre ces deux points une certaine différence de potentiel ; par suite, en réunissant A et B par un récepteur de résistance x , on pourra recueillir dans x un certain courant i fonction de x et des constantes du réseau. Nous allons montrer que l'intensité i fournie par ce générateur complexe est de même forme que celle fournie par un générateur simple, c'est-à-dire qu'elle est donnée par la formule

$$i = \frac{e}{x + \rho},$$

e et ρ étant des constantes qui se calculent en fonction des éléments du réseau d'après les règles suivantes :

e est la différence de potentiel existant entre les points A et B avant la mise en circuit de l'appareil d'utilisation x ;

ρ est la résistance du réseau entre les points A et B après suppression de toutes les forces électromotrices

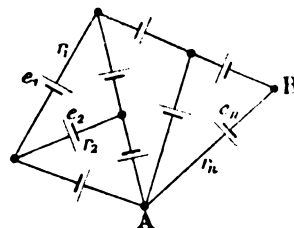


Fig. 1.

(la résistance doit aussi, évidemment, être supprimée pendant ce calcul puisqu'elle ne fait pas partie du réseau).

Cette propriété de l'intensité i est, en somme, une généralisation de la notion de générateur ; nous l'appellerons, dans la suite, *théorème du générateur complexe* ; c'est elle que nous utiliserons surtout dans les applications pratiques.

Pour démontrer le théorème du générateur complexe, nous appliquerons le principe de la superposition des états d'équilibre au réseau constitué par l'ensemble du réseau proposé et de la résistance d'utilisation ; nous appellerons *état I* l'état proposé dans lequel les forces électromotrices sont

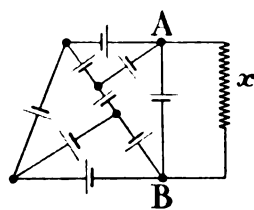
$$e_1, e_2, \dots, e_n, 0 \text{ (dans la branche } x),$$

et les intensités

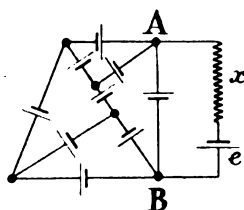
$$i_1, i_2, \dots, i_n, i \text{ (dans la branche } x).$$

cette dernière quantité i constitue l'inconnue du problème ; les valeurs de i_1, i_2, \dots, i_n sont pour nous sans intérêt, nous les écrivons pour mémoire.

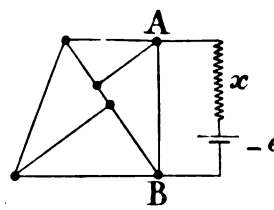
Pour calculer i , nous considérerons deux états d'équilibre, II et III qui ajoutés reproduiront l'état I. Si nous savons calculer les intensités i'' et i''' correspondant aux états II et III, nous obtiendrons i par addition de i'' et i''' .



Etat I.



Etat II.



Etat III.

Fig. 2.

à tout passage de courant dans x . L'état II sera donc caractérisé par les valeurs

$$(II) \quad \begin{cases} e_1, e_2, \dots, e_n, e \text{ des forces électromotrices,} \\ i''_1, i''_2, \dots, i''_n, 0 \text{ des intensités.} \end{cases}$$

Nous passerons de l'état II à l'état III en supprimant les forces électromotrices e_1, e_2, \dots, e_n et en renversant la force électromotrice e . Dans ce troisième état l'intensité i''' est facile à calculer ; c'est évidemment

$$i''' = \frac{e}{x + \rho}.$$

ρ ayant la signification indiquée plus haut.

En somme, l'état III est caractérisé par les valeurs

$$(III) \quad \begin{cases} 0, 0, \dots, -e \text{ des forces électromotrices,} \\ i'''_1, i'''_2, \dots, i'''_n, i''' = \frac{e}{x + \rho} \text{ des intensités.} \end{cases}$$

Superposant les états II et III on retombe évidemment sur I, d'où l'on déduit que

$$i = i'' + i''' = 0 + i''' = \frac{e}{x + \rho},$$

ce qu'il fallait démontrer.

III. Loi de réciprocité. — Considérons un réseau complexe renfermant des forces électromotrices dispo-

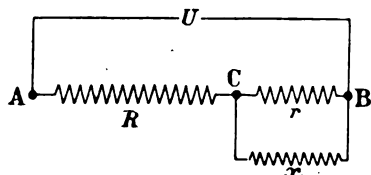


Fig. 3.

sées de façon quelconque et soient AB, $\alpha\beta$ deux des branches de ce réseau. Si la force électromotrice e

Nous imaginerons comme état II un état d'équilibre dans lequel les forces électromotrices e_1, e_2, \dots, e_n conservent leur valeur initiale, mais qui diffère de I par l'interposition dans la branche x d'une force électromotrice auxiliaire e de valeur et de sens tel qu'elle s'oppose

placée sur AB produit un courant supplémentaire i dans $\alpha\beta$, la même force électromotrice e placée sur $\alpha\beta$ produira le même courant supplémentaire i dans AB.

La démonstration de cette propriété est assez longue ; nous ne la donnerons pas ; d'ailleurs les exemples que nous aurons à examiner n'utilisent pas la loi de réciprocité.

IV. Calcul d'un potentiomètre simple. — Soient R et r deux résistances de valeurs connues et montées en série. Aux bornes A et B de l'ensemble, on maintient une différence de potentiel constante U (¹). Aux bornes B et C de la résistance r on branche une résistance d'utilisation x . Le problème consiste à calculer le courant i_x dans cette branche dérivée.

Le calcul direct de cette intensité se fait aisément par application des lois de Kirchhoff, mais il exige l'écriture de plusieurs formules ; si, au contraire, on

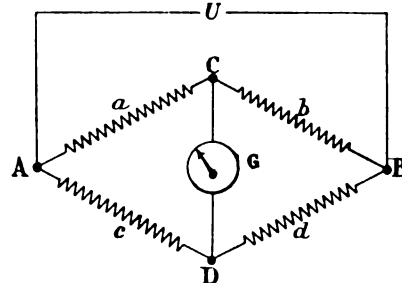


Fig. 4.

applique le principe des générateurs complexes le résultat est immédiat sans calculs :

$$i_x = \frac{U \frac{r}{R+r}}{x + \frac{Rr}{R+r}}.$$

(¹) On pourrait encore dire que les points A et B sont réunis aux deux bornes d'un générateur de force électromotrice U sans résistance intérieure.

En effet, il est d'abord évident que le numérateur représente la valeur de la différence de potentiel entre B et C avant l'interposition de x ; d'autre part, il est manifeste que, lorsqu'on supprime U en réunissant les points A et B (pour ne pas modifier la résistance de cette branche du réseau), la résistance du réseau entre les points B et C est le résultat de la mise en parallèle de $BC = r$ et $AC = R$, c'est-à-dire $\frac{Rr}{R+r}$ (1).

V. Courant dans la diagonale d'un pont de Wheatstone. — Soit un pont de Wheatstone a, b, c, d , alimenté par une source sans résistance intérieure (2) et de force électromotrice U . Proposons-nous de calculer l'intensité i_g dans le galvanomètre de résistance g .

Le calcul direct de i_g par application des lois de Kirchhoff est long et fastidieux (cinq équations, cinq inconnues); nous ne le rappellerons pas; on le trouve d'ailleurs dans la plupart des traités classiques.

L'application du théorème des générateurs complexes conduit sans calculs au résultat cherché :

1° La force électromotrice du générateur complexe est égale à la différence de potentiel entre les points C et D quand G est supprimé, c'est donc évidemment

$$U \frac{a}{a+b} - U \frac{c}{c+d}$$

2° La résistance ρ du générateur complexe s'obtient en supposant la source supprimée et les points A et B réunis; le pont se réduit alors au circuit ci-contre

(1) Observons en passant que, dans le cas où r est faible par rapport à R (condition souvent remplie dans la pratique), la résistance ρ se réduit à r . On peut donc énoncer le théorème suivant : un réducteur de potentiel dont la résistance en dérivation est faible par rapport à la résistance en série équivaut au point de vue des effets de chute de tension à un générateur de résistance égale à la valeur de la résistance en dérivation.

(2) Dans le cas où la source aurait une résistance inférieure, on appellerait U la différence de potentiel que cette source maintient aux bornes A et B du pont. Le calcul exact de cette différence de potentiel U en fonction de la résistance intérieure et de la force électromotrice E est assez compliqué; mais il est inutile de le faire, car il ne présente pas d'intérêt. Il est en effet bien plus logique de considérer comme donnée expérimentale la quantité U facilement mesurable avec un voltmètre que la quantité E mesurable seulement par la méthode d'opposition.

(fig. 5) circuit dont la résistance entre C et D est manifestement

$$\frac{ab}{a+b} + \frac{cd}{c+d}$$

Finalement, on voit que

$$i_g = \frac{U \left[\frac{a}{a+b} - \frac{c}{c+d} \right]}{g + \frac{ab}{a+b} + \frac{cd}{c+d}}$$

VI. Pont de Wheatstone employé pour la mesure des résistances des piles. — Considérons une pile de résistance R et de force électromotrice e introduite dans un pont de Wheatstone équilibré, c'est-à-dire satisfaisant à la condition $ab = cd$; il passe dans le galvanomètre un certain courant $i_g = i_0$ (fig. 6a); montrons que ce courant ne sera pas modifié si nous réunissons les points A et B par un court-circuit.

Prenons, en effet, le pont avec diagonale fermée (fig. 6d) et interposons dans cette diagonale une pile sans résistance dont la force électromotrice sera déterminée de façon à ne laisser passer aucun courant dans

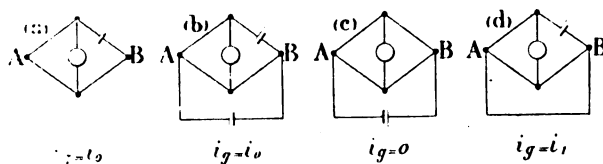


Fig. 6.

AB (fig. 6b); dans ces conditions, il est manifeste que le galvanomètre est traversé par le même courant i_0 que dans le cas de la figure 6a.

Supprimons maintenant la pile P, dont nous voulons mesurer la résistance, nous arrivons à l'état représenté par 6c, état dans lequel l'intensité i_g est évidemment nulle puisque nous avons à faire à un pont de Wheatstone classique en équilibre.

Superposons, enfin, les états b et c; nous retombons sur l'état d; d'où nous concluons que $i_0 = i_1$.

Cette même propriété peut être démontrée en partant de la loi de réciprocité (§ III), mais la démonstration qui précède nous paraît plus simple.

Remarque. — Dans un prochain article, nous ferons des applications de la superposition des états d'équilibre à la mesure des isolements.

C. DUFRÈNE.
Lieutenant de vaisseau.

Quelques remarques concernant les feuillets magnétiques

Cette note constitue une nouvelle contribution à la discussion de la question : Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? L'auteur y développe, en réponse à un récent article de M. Ilievici sur ce sujet (R. G. E., 25 janvier 1922, t. XI, p. 264-268), les considérations antérieurement exposées par lui à la séance du 20 mai 1921⁽¹⁾ de la Société française de Physique (R. G. E., 2 juillet 1921, t. X, p. 13-14).

La « Revue générale de l'Electricité » du 23 février 1922 a publié, p. 264, un article de M. Ilievici où je lis notamment ceci : M. Liénard... affirme que l'action entre deux feuillets ne dépend pas du milieu de la même façon que l'action entre deux aiguilles aimantées, ce qui est illogique..... »

La propriété que j'ai signalée a, je le reconnais, une apparence paradoxale et je ne m'étonne pas qu'elle ait produit quelque surprise. Mais l'apparence paradoxale d'un énoncé ne suffit pas à en démontrer la fausseté. Pour se convaincre que la propriété est parfaitement exacte, M. Ilievici n'a qu'à se reporter à la démonstration qu'en a donnée M. Chipart dans diverses notes aux Comptes rendus de l'Académie des Sciences (mars et avril 1921) et, plus récemment, dans une communication à la Société française de Physique (séance du 16 décembre 1921), que la « R. G. E. » a reproduite dans son numéro du 11 février 1922 (p. 191).

A la page 167, M. Ilievici écrit encore ceci : « Les conclusions contradictoires de M. Liénard, soit en ce qui concerne les relations entre \mathfrak{B} et \mathfrak{H} , soit en ce qui concerne les actions entre aimants et feuillets, proviennent de ce qu'il met la relation entre \mathcal{J} et \mathfrak{H} sous la forme $\mathcal{J} = \kappa \mathfrak{H}$ au lieu de $\mathcal{J} = \frac{\kappa}{k} \mathfrak{H}$, et de ce qu'il assimile un courant à un feuillet de puissance constante, comme on le fait d'habitude, au lieu de l'assimiler à un feuillet dont les deux faces sont à des potentiels indépendants du milieu, donc à puissance variable égale à $\mu \mathfrak{H}$, \mathfrak{H} étant la puissance du feuillet équivalent dans le vide ».

Inutile d'insister sur le premier point. J'ai évidemment le droit d'appeler κ la constante que M. Ilievici note $\frac{\kappa}{k}$. Le changement peut avoir une importance pour la question des unités, mais il ne saurait influencer en rien sur la question des efforts entre aimants et courants.

La question des feuillets équivalents exige une réponse plus longue. Il est bien connu que le champ d'un aimant (voir par exemple Maxwell) est déterminé par les relations suivantes

$$\text{rot } \mathfrak{H} = 0, \quad (1)$$

$$\text{div } \mathfrak{B} = 0, \quad (2)$$

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{H} + 4\pi \mathcal{J}. \quad (3)$$

⁽¹⁾ Par suite d'une coquille, il est imprimé dans le numéro du 24 septembre 1921, t. X, p. 398 : séances du 20 et 30 juin de la Société française de Physique. C'est : séances du 20 mai et du 3 juin qu'il convient de lire.

Maxwell n'employait pas les notations $\text{rot } \mathfrak{H}$ et $\text{div } \mathfrak{B}$ et substituait aux solutions (1) et (2) les relations équivalentes

$$\frac{\partial \gamma}{\partial y} - \frac{\partial \beta}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \alpha}{\partial z} - \frac{\partial \gamma}{\partial x} = 0 \dots \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial b}{\partial y} + \frac{\partial c}{\partial z} = 0.$$

Au point de vue physique, peu importe une notation ou une autre.

Tandis que \mathcal{J} est supposé donné pour les aimants dits permanents, dans les milieux magnétiques, au contraire, \mathcal{J} est une fonction de \mathfrak{H} de la forme $\mathcal{J} = \kappa \mathfrak{H}$ (ou $\frac{\kappa}{k} \mathfrak{H}$), relation qui, combinée avec (3), conduit à la relation connue

$$\mathfrak{B} = \mu \mathfrak{H}. \quad (5')$$

Soit donc un aimant permanent supposé plat (nous passerons ensuite à la limite pour avoir un feuillet) et aimanté normalement à ses faces. L'aimant est plongé

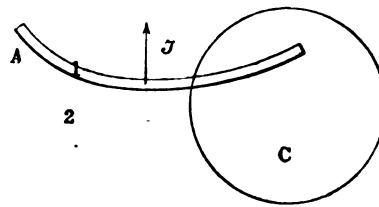


Fig 1.

dans un milieu perméable quelconque. Soient 1 la région intérieure à l'aimant, 2 la région extérieure. L'équation (3) est applicable dans la région 1 et l'équation (3'), dans la région 2.

Les équations (1) et (2) sont au contraire valables dans tout l'espace. L'équation (1) exprime que \mathfrak{H} dérive d'un potentiel uniforme (c'est-à-dire ayant en chaque point une valeur unique contrairement au potentiel d'un courant qui est indéterminé à un multiple près de $4\pi I$). Cette équation (1) peut être mise sous la forme équivalente

$$\int_C (\mathfrak{H}, ds) = 0, \quad (4)$$

C étant un contour d'intégration fermé quelconque et (\mathfrak{H}, ds) le produit scalaire de \mathfrak{H} et de ds , élément ds du contour. Le contour C peut être pris indifféremment en entier dans l'une des régions 1 ou 2 ou bien partie dans 1, partie dans 2.

J'écrirai alors (4) sous la forme

$$\int (\mathcal{H}, ds_1) + \int (\mathcal{H}, ds_2) = 0, \quad (4')$$

en distinguant par les indices 1 et 2 les éléments ds appartenant à l'une ou l'autre région.

Dans la première intégrale, je remplace \mathcal{H} par sa valeur tirée de (3) et dans la seconde intégrale, je le remplace par sa valeur tirée de (3'). Il vient

$$\int (\mathcal{B}, ds_1) - 4\pi \int (\mathcal{J}, ds_1) + \int \left(\frac{\mathcal{B}}{\mu}, ds_2 \right) = 0,$$

ou

$$\int (\mathcal{B}, ds_1) + \int \left(\frac{\mathcal{B}}{\mu}, ds_2 \right) = 4\pi \int (\mathcal{J}, ds_1). \quad (5)$$

Je passe maintenant au cas limite du feuillet. L'épaisseur e de l'aimant A tendra vers zéro en même temps que l'intensité d'aimantation \mathcal{J} devra croître indéfiniment pour que

$$\lim e\mathcal{J} = \text{une quantité finie } \mathcal{X}.$$

Puisque \mathcal{J} croît indéfiniment, l'équation (3) montre que l'une au moins des grandeurs \mathcal{H} et \mathcal{B} croît aussi indéfiniment. Il est important de remarquer que, seul, \mathcal{H} croît indéfiniment *tandis que* \mathcal{B} *reste fini*. En effet, il est bien connu que, à la traversée de la surface d'un aimant, la composante normale de \mathcal{B} reste continue (en vertu de $\text{div } \mathcal{B} = 0$), tandis que la composante tangentielle subit une discontinuité égale à 4π fois la discontinuité tangentielle de \mathcal{J} . Mais comme l'aimantation \mathcal{J} a été supposée normale aux faces de l'aimant plat, sa composante tangentielle est nulle à l'intérieur tandis que, à l'extérieur, elle est finie (ou même nulle si $\pi = 1$). La discontinuité tangentielle est donc finie et, puisqu'en outre la discontinuité normale est nulle, on voit que \mathcal{B} reste fini à l'intérieur comme à l'extérieur (1).

Laissons de côté le cas où le contour d'intégration C resterait tout entier à l'intérieur de la région 1, ce qui est sans intérêt (2).

Si le contour C ne fait que traverser la région 1, le premier terme $\int (\mathcal{B}, ds)$ de l'équation (5) disparaît à la limite, car \mathcal{B} reste fini et l'épaisseur de l'aimant tend vers zéro. Au second membre de (5), $\int (\mathcal{J}, ds_1)$ tend évidemment vers $\pm \mathcal{X}$ pour chaque traversée du feuillet

(1) \mathcal{B} restant fini, \mathcal{H} sera infiniment grand de valeur principale $-4\pi\mathcal{J}$ à l'intérieur du feuillet, ce qui montre l'existence entre les deux faces du feuillet d'une différence de potentiel magnétique égale à $4\pi\mathcal{X}$.

(2) Les équations correspondant aux contours supprimés se retrouvent comme cas limites des équations correspondant à des contours situés sur une des faces du feuillet, mais, à l'extérieur, dans la région 2.

let pour le contour C , le signe $+$ ou le signe $-$ convenait suivant le sens de la traversée. A la limite, la relation (5) devient donc

$$\int \left(\frac{\mathcal{B}}{\mu}, ds \right) = 4\pi \Sigma \mathcal{X}. \quad (5')$$

La Σ se rapporte aux diverses traversées du feuillet par le contour C , chaque terme étant affecté d'un signe convenable suivant le sens de la traversée. Si, en particulier, le contour C est en entier dans la région 2 et ne coupe pas le feuillet, le Σ est nul.

Je n'ai pas conservé l'indice 2 de ds au premier

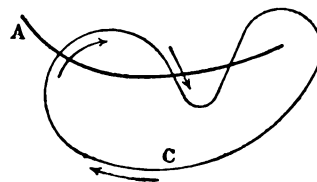


Fig. 2.

membre. C'est inutile, puisque les éléments ds_1 se sont évanouis.

Finalement, nous voyons que l'induction produite par un feuillet de puissance \mathcal{X} est déterminée par les équations (2) et (5').

L'examen de ce système d'équations montre immédiatement ceci : si l'on substitue dans toute la région 2 une substance de perméabilité μ'' à une autre de perméabilité μ' , les nouvelles valeurs \mathcal{B}'' de l'induction sont simplement données en fonction des anciennes par l'équation de proportionnalité

$$\frac{\mathcal{B}''}{\mu''} = \frac{\mathcal{B}'}{\mu'}. \quad (6)$$

En effet, la condition (6) entraîne évidemment

$$\int \left(\frac{\mathcal{B}''}{\mu''}, ds \right) = \int \left(\frac{\mathcal{B}'}{\mu'}, ds \right) = 4\pi \Sigma \mathcal{X},$$

et, en outre, \mathcal{B}'' étant simplement proportionnel à \mathcal{B}' , la relation $\text{div } \mathcal{B}' = 0$ entraînera $\text{div } \mathcal{B}'' = 0$.

L'équation (6) met en évidence ce résultat important que le champ magnétique \mathcal{H} reste invariable en tout point de la région 2 quand on remplace en entier un milieu de perméabilité μ' par un autre de perméabilité différente (1).

Comparons maintenant les résultats obtenus pour un feuillet avec ceux que l'on peut établir concernant un courant linéaire.

(1) Dans le cas de milieux non homogènes, le résultat subsiste cependant dans un cas, celui où le rapport $\frac{\mu''}{\mu'}$ reste invariable bien que μ' et μ'' varient d'un point à un autre du champ.

Les équations du champ produit par un courant linéaire plongé dans un milieu perméable sont

$$\int_C (\partial \mathcal{E}, ds) = 4\pi \Sigma I, \quad \operatorname{div} \mathcal{B} = 0, \\ \mathcal{B} = \mu \mathcal{E}.$$

Éliminant \mathcal{E} entre ces relations, on trouve

$$\int_C \left(\frac{\mathcal{B}}{\mu}, ds \right) = 4\pi \Sigma I, \quad \operatorname{div} \mathcal{B} = 0.$$

Ces équations sont exactement de même forme que (2) et (5') et elles conduisent à écrire comme loi d'équivalence la relation

$$I = \mathcal{I}.$$

et non pas $I = \mu \mathcal{I}$ comme M. Ilievici a cru pouvoir le déduire d'une analogie entre l'électrostatique et le magnétisme. Mais l'analogie n'est pas complète : dans le cas de l'électrostatique, chaque conducteur a tous ses points à un même potentiel ; aucun champ et aucune polarisation n'existent à leur intérieur. Les faces d'un feuillet ont au contraire entre elles une différence de potentiel $4\pi \mathcal{I}$.

L'analogie électrostatique d'un feuillet se rencontre dans une bilame Cu et Zn par exemple, entre les faces de laquelle la force électromotrice de contact Zn,

Cu entretient une différence de potentiel constante. Or, dans le cas où c'est la différence de potentiel entre conducteurs (et non pas les charges) qui reste constante lorsque l'on modifie la nature du diélectrique

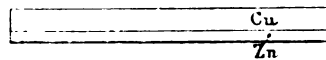


Fig. 3.

homogène interposé, il est bien connu et il est d'ailleurs évident, que la force électrique ne se modifie pas tandis que l'induction électrique (Maxwell aurait dit le déplacement) est multiplié par le rapport des pouvoirs inducteurs spécifiques.

Il y aurait encore des observations importantes à faire sur l'équivalence entre aimants de volume fini et courants non linéaires. Le cas des feuillets n'est en effet qu'un cas limite (mais non pas un cas fictif comme on me l'a objecté) et à ne considérer que des cas limites on peut se faire des idées erronées sur les cas réels.

Mais je ne veux pas allonger démesurément cette note et je m'arrête, du moins pour aujourd'hui.

A. LIÉNARD,

Ingénieur en chef des Mines,
sous-directeur de l'Ecole nationale des Mines.

Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique

Au sujet de l'article de M. Ilievici, publié sous ce titre dans la « Revue générale de l'Electricité » du 25 février 1922, t. XI, p. 26 f, nous recevons de M. E. Brylinski la lettre suivante.

L'étude que vient de publier M. Ilievici me paraît révéler quelques malentendus assez sérieux pour qu'il soit utile de les dissiper sans retard.

1. — A la question posée : « Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique », M. Ilievici répond en apportant un nouveau système de grandeurs, car la grandeur qu'il appelle *induction* (et pour laquelle il devrait proposer un nom différent) n'est pas l'induction telle que la presque unanimité des savants et des techniciens la définit.

Dans ces conditions, les caractères que présente cette nouvelle grandeur ne peuvent servir en rien à éclairer la nature de l'induction, telle qu'on la définit généralement.

Pour éviter toute ambiguïté, je rappellerai que je

définis le *champ magnétique* par le courant électrique, et l'*induction magnétique* par la force électromotrice qu'induit dans un circuit toute variation du flux d'induction magnétique qui le traverse, ou si l'on veut (ce qui revient au même tout en étant peut-être un peu plus élégant) par le travail d'un élément de courant du fait d'un déplacement virtuel dans les conditions définies par M. Langevin.

Je considère le *système électromagnétique de mesures* (qui n'est pas forcément C. G. S.), défini par le fait qu'on prend comme unité de perméabilité magnétique celle de l'éther libre, comme devant être maintenu tant qu'on n'aura pas trouvé des motifs impérieux pour lui en substituer un autre. Par contre, je considérerais comme regrettable de faire de ce système d'unités un système de *grandeurs*, car rien ne permet aujourd'hui de décréter arbitrairement que la perméabilité magné-

tique est un pur nombre ou que l'induction magnétique est de même nature que le champ alors que le contraire paraît beaucoup plus vraisemblable.

2. — Je n'ai jamais dit que μ devait avoir des dimensions parce qu'il est essentiellement variable; je sais, au contraire, depuis quarante ans environ, que l'indice de réfraction, par exemple, qui est essentiellement variable, est un rapport de deux vitesses et par conséquent de dimensions nulles. J'ai simplement dit, par opposition avec un autre coefficient sur lequel je vais revenir, que cette variabilité devait attirer l'attention; mon opinion est basée sur d'autres arguments, qu'il serait trop long de détailler ici et qui ont, d'ailleurs, été exposés, en partie au moins, dans cette Revue.

Il me faut cependant signaler que l'intéressante comparaison de M. Ilievici avec le poids apparent d'un corps, qui est impressionnante au premier abord, ne me paraît pas pertinente.

Le poids absolu résulte de l'action du champ gravifique sur la masse d'un corps, de même que l'induction magnétique à l'intérieur d'un corps dépend du champ magnétique (dans ses valeurs successives). On n'arrive à la notion du poids relatif qu'en faisant intervenir la réaction du milieu extérieur, qui n'a rien à voir dans les relations entre l'induction et le champ magnétiques d'un corps déterminé. La comparaison de M. Ilievici pourrait s'appliquer dans une certaine mesure à l'étude des actions mutuelles de corps magnétiques de dimensions notables, dont ont parlé MM. Liénart et Chipart; elle ne s'applique en rien aux relations entre l'induction et le champ magnétiques à l'intérieur d'un corps, de sorte que la remarque que j'ai formulée et qui a été précisée par M. Langevin, à savoir que l'induction est une fonction compliquée du champ dans les corps ferromagnétiques, conserve toute sa valeur.

3. — Je n'ai pas davantage dit que la force magnétomotrice d'un courant a les mêmes dimensions que ce courant parce que le rapport entre ces deux grandeurs est indépendant du milieu.

Mon sentiment est le suivant : la force magnétomotrice d'un courant est proportionnelle à ce courant, le coefficient de proportionnalité étant indépendant de la nature du circuit conducteur, de celle du courant (conduction, convection au déplacement) et de celle du

milieu. Comme il s'agit d'une relation au moyen de laquelle on *définit* la force magnétomotrice en fonction du courant, il est légitime et opportun de considérer (c'est une convention, mais que j'estime n'être pas arbitraire) ce coefficient constant comme un simple nombre. Si, en effet, on opérât différemment, on introduirait sans aucune utilité une grandeur physique supplémentaire, et l'on ne pourrait plus rien définir, ni cette nouvelle grandeur, ni le champ magnétique, puisqu'on disposerait d'une seule équation de définition pour deux grandeurs inconnues.

Le cas de la formule de l'attraction universelle

$$f = a \frac{mm'}{r^2}$$

est tout différent. On y établit, en effet, une relation entre la force (qui a été définie *antérieurement* par la valeur mg , c'est la définition même de la masse d'un corps), la masse et le carré de la longueur, de sorte que si l'on supposait que le coefficient a est un pur nombre, on arriverait à définir, en dimensions, la masse par une formule telle que

$$m' = gr^2$$

c'est-à-dire en fonction de la longueur et du temps. C'est une conséquence signalée il y a fort longtemps par Lord Kelvin et bien connue.

Tant qu'on considérera que la masse ne peut se définir en fonction seulement de l'espace et du temps, on sera obligé de considérer a comme une grandeur physique de dimensions différentes de zéro. Il n'est, d'ailleurs, *nullement certain* que ce coefficient a soit une constante absolue, comme on le dit couramment. Nous ne le connaissons que sous cet aspect parce qu'en raison de l'extrême difficulté des mesures terrestres dans cet ordre d'idées, nous n'avons guère que des résultats astronomiques en ce qui concerne ce coefficient et que, dans les observations astronomiques, les distances intersidérales sont telles que la seule valeur de a que nous connaissons est celle qu'a ce coefficient dans l'éther libre. Mais il est bien possible (et cela me paraît même très probable) que dans la matière on obtienne pour a des valeurs différentes lorsqu'on parviendra à réaliser les expériences suffisamment précises.

E. BRYLINSKI.

Revue, analyses et informations

Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique ?

Dans les numéros de cette Revue des 2 juillet et 24 septembre 1921, t. X, p. 13-15 et 398-399, ainsi que dans celui du 28 janvier 1922, t. XI, p. 116-118, nous avons déjà fait connaître les discussions qui ont eu lieu à la Société française

de Physique, en vue de donner une réponse à cette question. De nouvelles observations ont été faites à ce sujet dans la séance du 3 février 1922, de la Société; nous les reproduisons ci-dessous :

OBSERVATIONS DE M. POMEY. — « Je désire expliquer pourquoi j'ai fait un pas vers M. Abraham. Ce qui m'avait impressionné, c'est l'image même que Maxwell donne des

phénomènes électromagnétiques. Il s'agit non seulement du champ et de l'induction magnétique, mais à titre égal du champ électrique et du déplacement. Or, dans cette représentation le champ s'offre comme la cause, le déplacement comme l'effet ; les deux phénomènes sont des entités bien distinctes et les vecteurs qui les représentent peuvent même ne pas avoir la même direction : c'est ce qui a lieu dans les milieux cristallisés ; par conséquent, lorsque l'on écrit

$D = \frac{KE}{4\pi}$, la constante K , qui est une fonction vectorielle linéaire, se montre à nous comme une grandeur physique ; j'en conclus que les formules de dimension de D et de E ne pouvaient être les mêmes et les mêmes réflexions s'appliquaient aux vecteurs axiaux B et H .

» Cependant, un examen plus attentif m'a permis de reconnaître qu'une grandeur physique pouvait être de dimension nulle : il y a des grandeurs physiques qui n'ont pas de dimension, par exemple, la température, que M. Bouasse appelle une grandeur absolue ; mais l'exemple le plus simple est le coefficient de frottement ; c'est le rapport de la force normale à la résistance tangentielle pendant le mouvement. Ces deux forces sont perpendiculaires l'une à l'autre, mais peu importe : au point de vue des formules de dimensions et du choix des unités, le coefficient de frottement se présente comme un simple rapport de deux grandeurs de même espèce.

» Dès lors, si une grandeur physique peut être de dimension nulle, il n'y a pas d'absurdité à considérer H et B comme de même nature, μ sera une fonction vectorielle linéaire de dimensions nulles.

» Je ferai remarquer à ce propos que, dans son cours de mécanique, M. Painlevé met en garde contre les conclusions inexactes que l'on peut être tenté de tirer des considérations d'homogénéité, quand on arrive à une loi qui contient un coefficient de dimensions nulles ; il ne s'ensuit pas que cette constante soit un simple nombre, ce qui peut être une grandeur physique. »

RÉPONSE DE M. E. BRYLINSKI AUX OBSERVATIONS DE M. ABRAHAM. — « Quand la question du *gauss* est venue devant le Comité électrotechnique français, — et elle ne pouvait manquer d'y venir puisqu'elle est posée par les Américains depuis neuf ans devant la Commission électrotechnique internationale, — j'ai rappelé brièvement les raisons pour lesquelles le champ et l'induction magnétiques m'apparaissent comme des grandeurs physiques différentes ; j'ai été interrompu par l'un de mes collègues qui m'a fait remarquer que ma démonstration était inutile, attendu que tout le monde était actuellement d'accord sur ce point. Cette déclaration n'ayant soulevé aucune observation, il est clair que mes collègues n'admettaient pas la définition de l'induction telle qu'elle est donnée par Maxwell. Il résultait de là, et M. Abraham sera certainement d'accord avec moi sur ce point, que mes collègues étaient fondés à demander des noms différents pour les unités de ces deux grandeurs ; la seule question qui leur parût se poser était de savoir si le nom de *gauss* devait être réservé à l'unité de champ magnétique, comme l'avait décidé le Congrès de Paris en 1900, ou à l'unité d'induction magnétique, comme c'est l'usage — je ne dirai pas *absolu*, mais — très général aux Etats-Unis d'Amérique et dans l'industrie française de la construction électrique.

Ce redressement du sens de la notion d'induction date de longtemps, car il y a près de trente ans qu'il a été opéré par A. Potier et A. Vaschy. Vaschy, mort prématurément en laissant une œuvre très importante par l'élévation de ses

idées, est trop peu connu des techniciens ; mais A. Potier, professeur à l'Ecole Polytechnique et membre de l'Institut, s'intéressait à l'industrie et s'entretenait fréquemment avec les ingénieurs électriciens du siècle dernier, de sorte que son influence a été grande.

Il y a deux attitudes possibles en face d'un monument aussi important que celui qu'a édifié Maxwell : on peut rester écrasé devant la majesté de l'édifice, se proclamer l'humble et soumis disciple du maître, et n'admettre aucune modification, si petite qu'elle puisse être, à sa parole ; on peut, au contraire, admirer assez profondément l'édifice pour désirer réparer les petites imperfections qui peuvent subsister — alors que la science marche à pas de géants — dans un monument datant d'un demi-siècle et, ouvrier anonyme au besoin, apporter sa petite pierre au monument. Je me garderai de prétendre que personne, dans cet assemblée, ait adopté la première attitude ; mais je puis dire que Potier et Vaschy, suivis par beaucoup d'autres dont je fais partie, ont adopté la seconde.

Il faut bien reconnaître que Maxwell se souciait assez peu de la pureté du style, ce qui tient à ce qu'il envisageait les grandeurs qu'il définissait non pas comme des grandeurs physiques ayant un sens réel, mais comme des entités mathématiques devant réaliser certaines conditions déterminées.

Il part de la loi de Coulomb sous la forme abrégée

$$f = \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

d'abord en électrostatique, puis en magnétisme, sans s'inquiéter un moment si ces deux expressions successives sont compatibles entre elles. Les coefficients K et μ s'introduisent ensuite, mais la manière même dont le problème a été posé en fait des coefficients purement numériques. Quand Maxwell arrive à une relation de la forme

$$K\mu v^2 = 1$$

cela ne l'émeut pas ; il se borne à déclarer qu'on peut considérer à volonté tantôt K et tantôt μ comme un simple nombre. Dans sa définition de l'induction magnétique, il compose froidement le champ (qu'il a défini comme étant égal à $-\frac{\partial V}{\partial t}$) avec l'intensité d'aimantation (qu'il a défini comme le moment magnétique par unité de volume), ce qui laisserait croire, si on prenait cette formule à la lettre, qu'il considère le potentiel et la quantité de magnétisme comme une même grandeur, à une longueur près. Les termes lui importent d'ailleurs assez peu, car la quantité de magnétisme d'un aimant élémentaire est pour lui la *force* d'un pôle, de même que le champ magnétique est la *force magnétique* et le champ électrique, la *force électrique*, alors que la force mécanique que subit un pôle, reste, bien entendu, la *force*. Il était bien nécessaire de clarifier un peu cette terminologie.

Je viens de rappeler l'équation

$$K\mu v^2 = 1$$

que M. Abraham considère comme un simple accord de nombres. Je m'excuse auprès de lui de ne pouvoir me rallier à sa manière de voir sur ce point.

Quand on examine les équations de Maxwell dans un

milieu isotrope, en coordonnées rectangulaires, dans les conditions où il est licite d'écrire simplement,

$$B = KH \quad \text{et} \quad \mathcal{B} = \mu \mathcal{H}.$$

on constate qu'il en résulte que les ondes électromagnétiques se propagent, et que la vitesse du front de l'onde est précisément égale à $\frac{1}{\sqrt{K\mu}}$ (le coefficient γ de M. Abraham n'existe

en effet, pas, dans la théorie de Maxwell). Ce résultat n'est pas un résultat expérimental, c'est un résultat théorique, vérifié à posteriori par l'expérience qui a révélé que cette vitesse était précisément celle de la lumière. Il en résulte que $K\mu$ n'a pas seulement les dimensions de l'inverse du carré d'une vitesse, mais est de même nature que l'inverse du carré d'une vitesse; et je ne comprends pas bien qu'il soit impossible de se rendre compte de ce qui pourrait représenter le produit de deux grandeurs physiques, alors que tout le monde est d'accord pour considérer la vitesse (qui est une grandeur physique dont nous avons la notion intuitive) comme le produit d'une accélération (dont nous ressentons également les effets en cas de variation brusque, sans qu'il y intervienne aucune unité de mesure) par un temps.

Si je suis bien d'accord que la science ne peut progresser sans mesurer les grandeurs physiques, je regrette de voir que ces mesures numériques en soient venues peu à peu à constituer pour quelques-uns le seul but de la physique, au point de les amener à considérer les grandeurs en elles-mêmes comme n'ayant pas de sens réel. Ce point de vue me paraît d'autant plus contraire à la nature des choses que nous avons la notion intuitive de certaines grandeurs telles que l'espace, le temps, la vitesse, et bien d'autres encore.

OBSERVATIONS DE M. PAUL JANET. — M. Paul Janet fait observer que, si les techniciens ont une tendance générale à distinguer nettement le champ et l'induction, c'est qu'ils attachent à l'idée de champ l'idée d'action sur l'aiguille aimantée dans le vide ou dans l'air, et à l'idée d'induction, l'idée d'aimantation. Le champ \mathcal{H} peut être défini dans le vide comme une quantité inversement proportionnelle au carré du temps d'oscillation d'une petite aiguille aimantée; l'intensité d'aimantation I dans un aimant comme le quotient d'un moment magnétique par un volume. Il semble qu'il n'y a vraiment aucun rapport entre ces deux notions. Pour le praticien, l'induction, dans un morceau de fer aimanté, c'est très approximativement $4\pi I$. Dans un tore aimanté d'une manière permanente, cette expression est rigoureuse; il y a donc là, au sens des praticiens, une induction et pas de champ. Dans les autres cas, on sait qu'il faut ajouter quelque chose à $4\pi I$ pour avoir le vecteur qui intervient dans les phénomènes d'induction, et c'est ici que les difficultés commencent; mais en tout cas, si l'on admet que l'opération qui consiste à ajouter deux grandeurs d'espèce différente, par exemple une ligne à un volume n'a aucune espèce de sens, il faut admettre que la quantité à ajouter à $4\pi I$ pour avoir l'induction doit être de l'espèce de I et non de l'espèce de \mathcal{H} ; c'est ainsi que l'on est amené à écrire

$$\mathcal{B} = \mu_0 \mathcal{H} + 4\pi I$$

expression qui a l'avantage d'être exacte dans tout système d'unités.

(A suivre).

Recherches sur le paramagnétisme (1).

Ces recherches avaient pour objet l'étude précise des variations thermiques du coefficient d'aimantation de diverses substances paramagnétiques, étude qui permet d'atteindre deux grandeurs fondamentales pour notre connaissance de la structure moléculaire, à savoir le moment magnétique de l'atome et le champ moléculaire.

En principe l'appareil utilisé comportait un électro-aimant dans l'entrefer duquel régnait un champ non uniforme. Soit ox la direction du champ dans la région occupée par la substance; on sait que la composante suivant une direction perpendiculaire à ox de la force exercée sur la substance de densité ρ est

$$F = \chi \rho \int H \frac{dH}{dy} dy,$$

χ étant le coefficient d'aimantation et H , le champ magnétique. Comparant cette force à l'attraction f_0 exercée sur une masse (pyrophosphate de manganèse) d'un corps étalon, on a

$$F = f_0 \frac{m_{\chi\sigma}}{m_{\chi}}$$

pourvu que l'intégrale

$$\frac{\rho}{m} \int H \frac{dH}{dy} dy,$$

reprenne rigoureusement la même valeur quand on substitue le corps étalon au corps à étudier. On réalise cette dernière condition en se plaçant dans une région telle que l'attraction présente un maximum.

Pour déterminer les forces F et f_0 , la substance était fixée à l'une des extrémités d'un tube dont l'autre extrémité portait une bobine d'un électrodynamomètre; l'attraction de l'électrodynamomètre était réglée de façon à annuler la force F .

Enfin la substance pouvait être placée dans une enceinte à basse température (allant jusqu'à -190°) ou dans un four électrique à résistance donnant 650° ; un couple thermoélectrique indiquait la température cherchée.

SOLUTIONS TRÈS CONCENTRÉES. — Les solutions très concentrées obéissent à la loi de Weiss, généralisation de celle de Curie

$$\chi (T - \theta) = C^{10},$$

ont été étudiées à ce point de vue: le sulfate et le chlorure ferreux, le nitrate de cobalt, le sulfate ferreux ammoniacal; on trouve, en particulier, que ce dernier peut prendre plusieurs états magnétiques différents, caractérisés par un nombre de magnétons variant entre 26 et 28,5; le champ moléculaire (défini par θ) varie linéairement en fonction de ce nombre de magnétons de $+13^\circ$ à -46° .

PLATINE ET PALLADIUM. — Ces deux corps possèdent, en plus d'un diamagnétisme indépendant de la température, un paramagnétisme obéissant à la loi de Weiss et défini par un coefficient χ .

On a pour le platine entre 13 et 220° ,

$$(\chi + \chi_0) (T + 1124) = 1662,8 \times 10^{-6},$$

$$\chi_0 = 0,141 \times 10^{-6}.$$

(1) G. Forx. *Annales de Physique*, 1921, t. xvi, p. 194-305.

Or Kamerlingh Onnes et Oosterhuis (Comm. Leiden, (1913), 45) avaient trouvé entre -259° et $+13^{\circ}$.

$$(\chi + \chi_0)(T + 2690) = 3320 \times 10^{-6}.$$

Réserve faite quant aux valeurs absolues, on peut néanmoins affirmer, puisque les impuretés ne jouent qu'un faible rôle, que le platine peut exister aux basses températures dans un état magnétique différent de celui rencontré aux températures élevées.

Pour le palladium entre 13° et $+278^{\circ}$, on a

$$(\chi + \chi_0)(T + 227) = 3044.$$

LES DROITES COUDÉES. — Quand on porte en abscisses les températures absolues et en ordonnées les valeurs $\frac{1}{\chi}$ (corrigées au besoin des termes diamagnétiques), on trouve que la courbe obtenue se compose de portions de droites raccordées par des coudes très brusques, chaque portion de droite correspondant à un nombre entier de magnétons. Il serait intéressant de reprendre cette étude et de déterminer l'influence des impuretés ainsi que les relations entre les champs moléculaires et les moments magnétiques : le platine qui semble présenter trois régions rectilignes correspondant à 11, 9 et 8 magnétons pourrait fournir d'utiles renseignements.

CRISTAUX. — La sidérose (carbonate ferreux plus ou moins impur) orientée par rapport au champ, la diopside (silicate de cuivre), le sulfate ferreux ammoniacal, le sulfate manganèse ne suivent pas à basse température, la loi de Weiss, laquelle apparaît comme une loi limite aux températures élevées. Si on introduit des champs moléculaires anisotropes et des énergies potentielles fonction de la direction (ceci pour tenir compte des orientations cristallines) et si on admet que les atomes disposés suivant les nœuds des réseaux sont soumis, quant à leur orientation, à l'agitation thermique, un raisonnement analogue à celui qui a conduit Langevin à la théorie du paramagnétisme des gaz permet, moyennant diverses hypothèses trop générales sur les variations de l'aimantation avec la direction, de retrouver les divers types révélés par l'expérience.

Les quanta ne paraissent donc jouer aucun rôle dans les phénomènes magnétiques proprement dits.

A. F.

Sur un type d'hystérésis des oscillations dans un générateur simple à trois électrodes ⁽¹⁾.

Les électriciens ont étudié en détail pendant ces dernières années les conditions de production d'oscillations libres infiniment petites dans divers circuits à triode, mais la question de la stabilité et de l'entretien d'oscillations d'amplitude finie ne paraît pas avoir également attiré l'attention des chercheurs. Dans un récent travail, les auteurs avaient pu calculer l'amplitude finalement atteinte dans un cas simple de vibrations libres, dans lequel on employait une oscillation caractéristique non linéaire, aisément déterminée par l'expérience pour un tube et un circuit quelconque.

⁽¹⁾ E.-V. APPLETON et B. VAN DER POL. *Phil. Mag.*, janvier 1922, t. XLIII, p. 177-193, 4500 mots, 8 fig.

Cette oscillation caractéristique, qui représente la relation entre les variations du potentiel de l'anode et du courant anodique, peut être regardée comme exprimant les propriétés électriques d'une résistance imaginaire sans réactance, connectée en parallèle avec l'inductance du circuit oscillatoire. La forme de l'oscillation caractéristique peut être modifiée dans d'assez larges limites, et beaucoup d'intéressants problèmes surgissent alors. On peut se demander par exemple, quelle doit être la forme de l'oscillation caractéristique pour que, étant données les conditions particulières du circuit, il y ait plus d'une amplitude stable possible. Le présent mémoire traite cette question dans le cas de deux amplitudes possibles.

On établit d'abord la théorie générale d'un générateur simple à triode, dont les amplitudes possibles et les amplitudes stables soient calculables lorsque la forme de l'oscillation caractéristique est donnée. On examine ensuite les conditions de stabilité de deux amplitudes pour les mêmes paramètres caractérisant le tube et le circuit. Pour que deux amplitudes, dont l'une est nulle, puissent être stables, l'expression de l'oscillation caractéristique, développée suivant une série de Mac Laurin doit présenter un *cinquième* coefficient différentiel positif et un *troisième* coefficient différentiel négatif.

Cette partie théorique est suivie par une description des expériences confirmant les résultats du calcul et dans lesquelles on observe que la relation entre l'amplitude des oscillations et un des paramètres du circuit (par exemple la résistance ou la capacité du circuit oscillatoire) est irréversible, de sorte que pour certaines valeurs de ce paramètre l'amplitude peut être ou nulle ou finie, selon la méthode employée pour établir les conditions correspondantes. Dans de tels cas d'irréversibilité, il doit être possible d'obtenir que l'amplitude saute de la valeur nulle à la valeur finie au moyen d'une impulsion électrique suffisante. Une vérification expérimentale de cette prévision a pu être obtenue en employant la force électromotrice momentanée due à une bobine dans laquelle un barreau aimanté se déplace.

On a aussi étudié expérimentalement la relation qui existe entre les paramètres critiques pour la mise en marche et l'arrêt des oscillations, et les potentiels appliqués à l'électrode et on a trouvé qu'il y a d'ordinaire un domaine de potentiels de la grille dans lequel l'amplitude est une fonction uniforme des paramètres du circuit, de sorte qu'ici les conditions pour le départ et l'arrêt des oscillations sont les mêmes. Pour de telles valeurs du potentiel de la grille on peut conclure que l'oscillation caractéristique est approximativement représentée par une série de *trois* termes de puissances simples.

Pour d'autres valeurs du potentiel de la grille on trouve une différence dans les constantes critiques du circuit, toujours accompagnée de la possibilité d'une hystérésis des oscillations. Dans de tels cas, il faut représenter l'oscillation caractéristique par une série de *cinq* termes à puissances simples pour expliquer les phénomènes.

Deux amplitudes stables, toutes deux différentes de zéro, se sont aussi montrées expérimentalement possibles, ce phénomène dépend du *septième* coefficient différentiel de l'équation caractéristique,

L. B.

SECTION INDUSTRIELLE

Le prix de revient du labourage

Examiner à quel prix l'agriculteur peut effectuer ses labours selon qu'il utilise des chevaux, des bœufs ou des tracteurs, et comparer ces prix à ceux que permet d'obtenir le labourage électrique, tel est le but que poursuit M. Ach. Delamarre dans les lignes qui suivent. Il montre que le treuil électrique est nettement supérieur pour les labours profonds, mais qu'en ce qui concerne les labours légers et les façons culturales secondaires, on doit compter avec les concurrents. Il est intéressant pour les secteurs de connaître les chiffres donnés, car on ne peut les négliger dans l'établissement des tarifs de vente de l'énergie agricole.

La question des prix de revient comparés du labourage, — qui constitue de toutes les façons culturales celle qui absorbe le plus d'énergie (70 à 80 pour 100 de l'énergie totale exigée par les divers travaux de préparation des terres), — ne peut plus être traitée en multipliant par un certain coefficient les chiffres d'avant-guerre. C'est, qu'en effet, les majorations diffèrent notablement maintenant selon que l'on emploie des chevaux ou des bœufs, des tracteurs à essence, des treuils, etc.

D'autre part, il faut se méfier des évaluations faites à la suite d'essais de quelques heures; tout au plus peut-on les interpréter; mais si l'on veut avoir des bases vraiment sérieuses, il faut tabler sur des résultats d'une année au moins. C'est pourquoi il m'a paru intéressant de reprendre une question que j'avais examinée déjà ici, il y a bientôt cinq ans ⁽¹⁾, en faisant aujourd'hui état des chiffres recueillis par des agriculteurs connus ou extraits des éléments de la comptabilité de fermes importantes.

Les électriciens, en effet, ont le plus grand intérêt à se tenir au courant des résultats obtenus par les procédés concurrents, non seulement pour s'assurer qu'ils n'arrivent pas à des prix prohibitifs, mais aussi pour étudier des barèmes de vente de l'énergie qui donnent satisfaction aux cultivateurs, tout en laissant aux exploitants une rémunération suffisante.

Je vais donc examiner, sans, bien entendu, prétendre à une rigueur absolue, quels sont les prix de revient du labourage à l'hectare suivant qu'on emploie des chevaux, des bœufs, des tracteurs ou des treuils électriques.

I. Labourage par chevaux. — M. Henry Girard, membre du Conseil supérieur de l'Agriculture et exploitant du domaine de Bertrandfosse (Oise), indiquait pour la saison 1919-1920 que le prix de revient

de la journée de travail d'un cheval s'établissait ainsi par jour ⁽¹⁾ :

| | fr. | c. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| Nourriture : 8 kg d'avoine à 90 fr les 100 kg. | 7,20 | |
| 1,5 botte de fourrage à 2 fr.... | 3 | |
| 2 bottes de paille à 1,25 fr..... | 2,50 | |
| | | 12,70 |
| Amortissement : y compris l'aléa (accidents, mortalité) : $\frac{500}{365} =$ | 1,37 | * |
| Ferrure : 1 ferrure par mois, clous à glace, etc., 16 fr par mois, soit 16×12 par an, et par jour : $\frac{16 \times 12}{365} =$ | 0,52 | |
| Harnachement et entretien : $\frac{183}{365} =$ | 0,50 | |
| Intérêts du capital engagé : $\frac{190}{365} =$ | 0,52 | |
| Total..... | 15,61 | |

Mais comme un cheval à la ferme, s'il mange 365 jours par an, ne travaille guère que 275 jours, le prix du collier, charretier non compris, ressort en réalité à $\frac{15,61 \times 365}{275} = 20,70$ fr. Il faut y ajouter le salaire du charretier à raison d'un homme pour 3 chevaux, soit 4 fr, ce qui conduit à 24,70, soit 25 fr.

Il est à remarquer qu'il n'a pas été, à dessein, tenu compte du fumier dont la valeur logiquement doit venir en déduction des frais ci-dessus; M. Girard a estimé qu'il n'y avait pas lieu de le prendre en compte, étant donnée la basse évaluation adoptée pour les denrées.

Or, le travail pour retourner 1 m³ de terre en terrain moyen oscille entre 3 000 kg-m et 10 000 kg-m, selon qu'il s'agit de terrains légers et sablonneux ou de terrains

⁽¹⁾ Il est à noter que l'avoine, le fourrage, etc., ayant baissé, ce prix pour 1921 est sensiblement plus bas : 20 pour 100 environ, ce qui conduirait à 20 fr par jour au lieu de 25 fr.

⁽¹⁾ R. G. E., 2 juin 1917, t. 1, n° 22, p. 860 et suiv.

argileux et durs; on admet généralement qu'il faut en moyenne tabler sur 6000 kg-m., soit par hectare :

Pour un labour de 18 à 22 cm de profondeur :
12 000 000 kg-m.

Pour un labour de 30 à 35 cm de profondeur :
20 000 000 kg-m.

D'autre part, un cheval de labour peut, en travaillant toute la journée, exercer au pas une puissance moyenne de traction de 45 kg-m : s.

Ceci conduit à conclure qu'il faut compter pour labourer, avec un cheval travaillant 10 heures par jour, un hectare, de 18 à 22 cm de profondeur :

$\frac{12\,000\,000}{45 \times 3\,600 \times 10}$, soit 7,33 jours. Or, M. Guédénéy (1)

signale qu'un cultivateur important de la Meuse lui a indiqué pour des labours de 18 à 20 cm, dans sa région, 2 jours par hectare avec une attelée de 4 chevaux. Les résultats déduits des chiffres admis plus haut concordent donc avec la pratique.

On trouverait de même qu'il faut compter, pour les labours de 30 à 35 cm, 2 jours à 6 chevaux; toutefois, il y a lieu dans ce cas de majorer le chiffre obtenu, pour tenir compte de ce que le rendement d'un attelage de 6 chevaux est mauvais et tabler sur 2 jours à 8 chevaux.

Si, dès lors, faisant application du prix de revient de la journée de travail d'un cheval et tenant compte de l'entretien du brabant évalué 3 fr par hectare, on calcule le coût du labourage à l'hectare au moyen de chevaux, on trouve

| | |
|--------------------------------------------------|----------------|
| Labours de 18 à 22 cm : 2 jours à 4 chevaux..... | 200 fr. |
| Entretien brabant..... | 3 |
| Total..... | 203 fr. |

| | |
|--------------------------------------------------|----------------|
| Labours de 30 à 35 cm : 2 jours à 8 chevaux..... | 400 fr. |
| Entretien brabant..... | 3 |
| Total..... | 403 fr. |

II. Labourage par bœufs. — M. Henry Girard donne les éléments suivants pour l'évaluation du prix de revient de la journée d'un bœuf en 1919-1920 :

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Nourriture : betteraves, fourrages, tourteau, suivant les saisons..... | fr c. |
| Amortissement : Difficile à fixer étant donné qu'actuellement on ne peut prévoir ce que sera le prix de la viande dans 3 ou 4 ans. On peut apprécier les choses ainsi : 1 bœuf de 800 kg est acheté 3,75 fr le kilogramme vif, soit 3 000 fr; il sera revendu pesant 900 kg à 2 fr le kg, soit 1 800 fr. Amortissement 400 fr par an, soit par jour : $\frac{400}{365} = \dots$ | 1,10 |
| Ferrure : 6 ferrures par an à 15 fr, donc $\frac{90}{365} = \dots$ | 0,25 |
| Harnachement : 60 fr par an, soit $\frac{60}{365} = \dots$ | 0,17 |
| Intérêts du capital engagé et imprévu : $\frac{162}{365} = \dots$ | 0,44 |
| Total..... | 8,76 |

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, février 1920, 3^e série, t. x, p. 57-78.

Je dois faire remarquer qu'il n'est peut-être pas très logique de compter ici le risque de baisse du prix de la viande qui conduit à amortir un bœuf de 400 fr par an. M. de Lapparent estime qu'on ne doit faire état que des risques basés sur le taux d'assurance contre la mortalité du bétail, soit environ 1,5 pour 100. Comme, d'autre part, à l'opposé du cheval inoccupé qui coûte sans rien rapporter, le bœuf laissé à l'étable est toujours producteur de gain puisqu'il engraisse, on peut admettre qu'il n'y a pas lieu de majorer, pour tenir compte des journées d'utilisation, le prix de 8,75 fr trouvé ci-dessus; il reste simplement à lui ajouter le salaire du bouvier à raison de 12 fr par jour pour 4 bœufs.

La journée du bœuf ressort donc à 11,75 fr, soit en chiffres ronds à 12 fr.

Le bœuf marchant à une allure beaucoup plus lente que le cheval, et sans entrer dans les détails analogues à ceux que j'ai donnés pour ce dernier, on admet généralement en culture qu'il faut remplacer 4 chevaux par 6 bœufs.

On arrive alors aux prix de revient suivants, à l'hectare :

| | |
|------------------------------------------------|----------------|
| Labours de 18 à 22 cm : 3 jours à 4 bœufs..... | 144 fr. |
| Entretien brabant..... | 3 |
| Total..... | 147 fr. |
| Labours de 30 à 35 cm : 3 jours à 8 bœufs..... | 288 |
| Entretien brabant..... | 3 |
| Total..... | 291 fr. |

III. Labourage par tracteurs. — Le prix de revient est ici plus délicat à établir parce qu'il dépend moins des consommations en carburant, huile, etc., qu'en frais d'intérêts et amortissement qui constituent des éléments variables suivant le nombre de jours d'utilisation annuelle du matériel.

Les statistiques des Etats-Unis récemment publiées et portant sur 400 fermes dont les pièces de terre ont une étendue moyenne de 8 hectares, consacrées pour 40 centièmes à la culture du maïs, le reste étant semencé en avoine et fourrage, indiquent une utilisation moyenne des tracteurs de 45 jours par an, une durée de 7,5 à 8,5 ans, des frais de réparation de 3 pour 100 du prix d'achat, par an, pendant les trois premières années et 4 à 5 pour 100 ensuite.

M. Henry Girard admet une utilisation de 150 jours qui est certainement trop forte si l'on remarque que M. de Poncins n'est pas arrivé à dépasser 140 jours environ avec un tracteur syndical; M. Héron indique le chiffre de 80 jours qui me paraît plus près de la vérité. Pour favoriser le tracteur et tenir compte de son utilisation à la ferme, comme moteur actionnant la batteuse par exemple, on peut tabler sur 100 jours.

En revanche, M. Girard estime qu'il faut amortir un tracteur en trois ans, la valeur au bout de trois ans égalant l'entretien. Ceci est exagéré, et sans aller jusqu'à la durée de huit ans adoptée par les Américains et

sur laquelle M. Maris-Besnard, — comme constructeur il est vrai, — conseille de se baser, on peut sans être taxé d'optimisme compter sur cinq ans. Quant aux frais d'entretien, si le taux de 3 pour 100 paraît admissible pour les deux premières années tout au plus, il est trop faible ensuite et il résulte des chiffres qui m'ont été communiqués qu'il est prudent de prévoir 10 pour 100 l'an, pendant toute la durée du tracteur (ce chiffre étant trop fort au début et trop faible à la fin).

On peut alors établir ainsi les *frais fixes* qui grèvent annuellement le tracteur. Prenant comme exemple un matériel de 20 ch, au printemps de 1920, qui coûtait de prix d'achat, d'après M. Henry Girard, 21 000 fr, on trouve en appliquant les chiffres admis ci-dessus :

| | |
|---------------------------------------------------------------------|------------------|
| Amortissement de 21 000 fr en 5 ans (capitalisé à 6 pour 100) | 3 725 fr. |
| Intérêts de 21 000 fr à 10 pour 100 | 2 100 |
| Entretien à raison de 10 pour 100 sur le prix d'achat | 2 100 |
| Assurances diverses | 500 |
| Total | 8 425 fr. |

soit pour 100 jours de travail 84,25 fr par jour.

A ce prix il faut ajouter le salaire du mécanicien-conducteur que M. Girard fixe, en tant que salaire proprement dit et prime à 16 fr par jour.

En terre moyenne, un tracteur de 20 ch fait facilement 2 hectares par jour de labour à 18 à 22 cm ; cependant M. Girard pour tenir compte du temps perdu, notamment dans les déplacements, ne compte que 1,5 hectare ; la consommation en carburant est évaluée par lui à 50 l par hectare et comptée à raison de 1,20 fr le litre (au printemps 1920), transport et déchet compris ; pour l'huile, la graisse et les chiffons il a été dépensé 23 fr par jour, en moyenne, soit par hectare $\frac{23}{1,5} = 15,35$ fr.

On arrive ainsi finalement au prix de revient ci-dessous pour un labour à 18 à 22 cm qui paraît maintenant être le labour le plus courant à demander au maximum à des tracteurs de 18 à 25 ch.

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Frais fixes : 84,35 fr par jour, soit par hectare : $\frac{84,35}{1,5} =$ | 56,16 fr. |
| Mécanicien : 16 fr par jour, soit par hectare : $\frac{16}{1,5}$ | 10,65 |
| Carburant : 50 litres à 1,20 fr | 60 |
| Huile, chiffons, graisse | 15,35 |
| Total | 142,15 fr. |

Je dois faire remarquer que, bien qu'ayant modifié certains chiffres adoptés ou indiqués par M. Girard, pour les mettre en harmonie avec d'autres résultant de statistiques qui me paraissaient plus précises encore, j'arrive à un prix de 142 fr à l'hectare, alors que M. Girard trouve 134 fr comme résultat réel donné par ses carnets de comptabilité. Les deux chiffres concordent donc sensiblement.

Il y a lieu, enfin, d'attirer l'attention sur l'influence du prix du carburant et du graissage qui représentent plus de 50 pour 100 du prix de revient. Si, comme on le laisse entendre aux agriculteurs, les prix pratiqués au printemps prochain sont inférieurs de moitié à ceux de 1920, le prix de revient de l'hectare labouré descendra à 100 ou 105 fr. C'est là un chiffre qu'il faut retenir.

IV. Labourage par treuils à vapeur, à essence, etc. — Je n'ai pas cru devoir rechercher les prix obtenus avec les matériels à vapeur du type Fowler, parce que j'estime qu'ils sont appelés à disparaître, malgré leurs grandes qualités, dans un avenir très prochain. La nécessité d'amener, chaque jour, à ces matériels 1500 à 2000 kg de charbon, et 3 m³ d'eau, soit au total environ 5 t, le gaspillage de combustible (les machines ordinaires consommant 3 à 3,5 kg par cheval-heure), conduiront fatalement à les abandonner et à les remplacer par des treuils munis de moteurs à explosion. Mais dans cette voie, nous ne sommes encore qu'aux débuts ; le moteur à essence actuellement utilisé sur les treuils de Dion, par exemple, sera prochainement détrôné lui-même par le moteur à gaz pauvre ou le semi-Diesel.

Aussi les chiffres que je donnerais n'auraient-ils : ou bien qu'un intérêt bientôt rétrospectif, ou qu'un intérêt momentané.

V. Labourage par treuils électriques. — De toutes les méthodes de labourage, celle par treuils électriques est certainement la plus complexe quant à l'établissement du prix de revient de l'hectare travaillé.

C'est qu'en effet, parmi les frais fixes, figurent ici non seulement l'entretien, l'intérêt et l'amortissement des treuils, cabines ou charrues, mais encore des lignes d'amenée de courant. S'il est à peu près admis que celles-ci devront être fixes, c'est-à-dire que, dans une ferme électrifiée, les champs devront être recouverts d'un véritable réseau de distribution établi définitivement, les frais d'immobilisation à prévoir pour ce réseau différeront sensiblement selon qu'on travaillera avec un seul treuil ou avec deux treuils.

J'ai déjà montré (1) que les raisons qui avaient fait abandonner le roundabout par Fowler tenaient moins à un vice du système lui-même, qu'aux treuils dont les chaudières étaient insuffisantes pour une marche continue à pleine charge. Avec des treuils électriques on devait être tenté de passer sur quelques inconvénients secondaires pour profiter d'avantages importants comme : n'avoir plus besoin que d'une seule amenée de courant, possibilité de fixer le treuil et, par suite, de supprimer l'accessoire délicat qu'est le câble souple ; en tout cas réduire au minimum les chances d'accident à ce câble que l'on n'a plus à soumettre à des déroulements et des enroulements continuels ; suppression de lignes dans la plaine dont les poteaux constituent une

(1) Les méthodes de labourage par treuils. *R. G. E.*, 29 décembre 1917, p. 1017 et suiv.

gène pour le labourage, le treuil pouvant être placé sur la fourrière côté du chemin et la majorité des lignes construites le long de ceux-ci.

Certains cependant restent partisans du double treuil dont la mise en chantier est plus rapide.

En donnant le compte rendu des démonstrations de Cloches ⁽¹⁾, j'ai fourni un premier *aperçu* de prix de revient en me basant sur les résultats obtenus au début, mais sans tenir compte des frais provenant du réseau d'alimentation et en admettant que les matériels aient une utilisation optimum. En outre, sur l'indication de M. Guédeney, le courant avait été compté 0,40 fr le kilowatt-heure alors que, d'après les derniers renseignements fournis, il coûtait 0,70 fr.

Aussi est-il utile de reprendre le calcul en serrant de plus près les chiffres.

Pour désavantager le labourage électrique ou, si l'on veut, pour ne pas être suspect de le favoriser, je calculerai les immobilisations et les charges qui en découlent en prévoyant un réseau de distribution pour un matériel à double treuil, et je tablerai pour les frais proportionnels sur les résultats donnés par un matériel rondabout dont le rendement général, au point de vue mécanique, est évidemment moins bon que celui d'un matériel à double treuil.

J'ai montré ⁽²⁾ que dans une ferme un peu importante (c'est-à-dire supérieure à 200 hectares), dont les pièces sont assez bien agglomérées, on pouvait desservir complètement celles-ci en comptant 1,5 à 2 km de lignes, (partie en haute tension et parties en basse tension) par 25 hectares. Construites sur poteaux de 7 m, elles représentent une dépense de premier établissement, par hectare, inférieure à 200 fr, soit comme frais annuels 20 fr par hectare au maximum.

La consommation d'énergie dans un labour de 20 à 22 cm varie entre 40 et 45 kw-h à l'hectare ; pour un labour sur blé de 30 à 32 cm, elle atteint 60 kw-h (et passe même à 85 et 90 kw-h dans des défrichements de luzerne). La production journalière, avec des matériels de 50 à 60 ch, atteint 3 hectares en labours profonds et 4,5 hectares en labours à 20 cm. Il faut, enfin, compter trois hommes par chantier.

Le prix du matériel complet (treuils, cabines, charrue, etc.), est sensiblement d'une centaine de mille francs, soit qu'il s'agisse de celui de la Compagnie Electro-Mécanique, soit qu'il s'agisse de celui de M. Estrade, pour ne prendre que des matériels comparables. En les amortissant en dix ans, alors que leur durée réelle sera au moins d'une quinzaine d'années, on tient largement compte de leur entretien. C'est donc fait une dépense annuelle de 10 000 fr qu'il est prudent de ne répartir que sur 300 hectares (alors qu'en réalité on pourrait travailler 500 hectares).

Il faut en outre compter, tous les 7 à 8 hectares, un déplacement du matériel qui prend une demi-journée à

deux hommes et à trois chevaux, le remplacement d'un câble de traction (2 000 à 2 500 fr) tous les deux ans, l'entretien des socs, etc. On arrive alors aux prix de revient suivants à l'hectare :

| | fr c. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Labours à 18 à 22 cm : | |
| Frais de lignes haute et basse tension..... | 20 |
| Intérêts du capital à 10 pour 100 sur 100 000 pour 300 hectares..... | 33,33 |
| Amortissement de 100 000 fr en 10 ans (capitalisé à 6 pour 100) sur 300 hectares..... | 25,28 |
| 3 hommes à 15 fr pour 4,5 hectares soit par hectare, | 10 |
| Déplacement du matériel : 2 hommes à 15 fr. 30 | |
| 3 chevaux à 25 fr..... | 75 |
| | <u>105</u> |
| Soit pour une demi-journée par 8 hectares..... | 6,62 |
| Remplacement du câble de traction par 600 hectares. | 3,33 |
| Rebattage des socs..... | 3,20 |
| Graissage..... | 1 |
| Courant : 40 kw-h à 0,70 fr le kilowatt-heure (prix de la Coopérative agricole de Prouais-Rozay).... | 28 |
| Total..... | <u>130,76</u> |

soit en chiffres ronds : 130 fr par hectare.

| | fr c. |
|-----------------------------------------------------|---------------|
| Labours à 30 à 32 cm sur blé : | |
| Frais de lignes haute et basse tension..... | 20 |
| Intérêts du capital..... | 33,33 |
| Amortissement du capital..... | 25,28 |
| 3 hommes à 15 fr pour 3 hectares, soit par hectare. | 15 |
| Déplacement du matériel..... | 6,62 |
| Remplacement du câble de traction..... | 3,33 |
| Rebattage des socs..... | 3,20 |
| Graissage..... | 1 |
| Courant 60 kw-h à 0,70 le kilowatt-heure..... | 42 |
| Total..... | <u>149,76</u> |

soit en chiffres ronds : 150 fr par hectare ⁽¹⁾.

Résumé. — Rassemblons dans le tableau ci-dessous les prix de revient à l'hectare suivant le mode de traction adopté.

La conclusion se dégage alors avec clarté : pour les labours ordinaires les treuils ne sont actuellement que très peu supérieurs — si l'on ne considère que le prix de revient — aux tracteurs, qui eux-mêmes conduisent à un prix qui n'est pas très sensiblement au-dessous de celui obtenu avec des bœufs. Or si, il y a quelques années, le prix de revient de l'hectare labouré était sans grand intérêt parce qu'il fallait labourer mécaniquement ou pas du tout, il n'en est plus de même aujourd'hui. A l'heure actuelle nous ne manquons plus de

⁽¹⁾ Cette étude était terminée lorsque me parvint le compte rendu officiel des derniers essais de Cloches. J'ai eu le plaisir de constater que M. Duperrier, pour des labours à 30 cm, arrivait à un prix de revient de 153 fr par hectare. Ceci constitue un recoupement intéressant des chiffres qui m'ont servi de base et en montre l'exactitude pratique. — A. D.

⁽¹⁾ R. G. E., 17 décembre 1921, t. x, p. 888 et suiv.

⁽²⁾ Le nouveau matériel J. Estrade à la Semaine d'Electromotoculture d'Ondes ; R. G. E., 28 janvier 1922, t. xi, p. 121-128.

| NATURE DU LABOUR | CHEVAUX | BŒUFS | TRACTEURS À ESSENCE | TREUILS ÉLECTRIQUES kw-h à 0,70 fr |
|----------------------------------------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 18 à 22 cm de profondeur | francs 203 | francs 147 | francs 131 à 142 | francs 130 |
| 30 à 35 cm de profondeur sur blé | 403 | 291 | | 150 |

chevaux ; l'agriculteur est obligé d'en conserver un certain nombre et il cherche naturellement à les utiliser au maximum ; il tendra donc à faire ses labours légers avec des chevaux, aidés, si besoin est, de bœufs. Et c'est là, parmi d'autres, une des causes de la crise qui depuis deux ans sévit sur l'industrie de la motoculture. Pour les labours profonds, en revanche, le treuil reprend très fortement l'avantage.

Enfin un fait précis se dégage de l'examen des éléments du prix de revient de l'hectare labouré électriquement : les immobilisations (lignes, amortissement et intérêts du matériel) grèvent lourdement ce prix ; ils représentent en effet 56 pour 100 des dépenses pour les labours de 18 à 22 cm, se répartissant en 15,4 pour 100 pour les lignes, et 40,6 pour 100 pour le matériel. En revanche le prix du courant n'entre dans ce prix que pour 21 pour 100.

Pour que le labourage électrique puisse se développer, il faut donc moins s'efforcer — comme beaucoup le croient à tort — d'obtenir de bas prix de courant, que d'abaisser dans une proportion très sensible les immobilisations, c'est-à-dire les dépenses en lignes d'alimentation et en achat de matériels. On résoudra probablement la première difficulté en généralisant le roundabout (avec treuil unique à double tambour ou avec deux treuils comme l'a réalisé M. Douilhet) ; on palliera à la seconde, d'une part, en simplifiant à l'extrême la construction, d'autre part, en augmentant l'utilisation des treuils, c'est-à-dire en labourant annuellement le maximum de surface, grâce à des groupements de grosses fermes, à des coopératives ou enfin à des entreprises de labourage.

Ach. DELAMARRE.

Quelques coefficients de sécurité pratiques au sujet des isolateurs suspendus de différents modèles

Dans cet article sont développés d'une façon générale les différents problèmes qui peuvent se poser à l'ingénieur électricien chargé de faire le choix d'un isolateur suspendu. L'auteur critique, tout d'abord, certaines opinions qui ont cours parmi beaucoup d'électriciens relativement à la résistance mécanique de la porcelaine, pour laquelle on exige des coefficients de sécurité souvent exagérés, allant jusqu'à 5. En réalité, la porcelaine se comporte, au point de vue mécanique, comme la fonte : il y a une limite de contrainte qu'il ne faut pas dépasser, mais, en cherchant à la reculer trop, on est alors conduit à des formes d'isolateurs qui ne donnent plus satisfaction au point de vue électrique. Comme critérium de la valeur électrique d'un isolateur, l'auteur conseille de prendre le rapport de la tension de percement dans l'huile à la tension d'amorçage à sec et l'article se termine par la publication de quelques résultats de ce genre obtenus avec trois types d'isolateurs.

I. Introduction. — Les affirmations catégoriques de certains ingénieurs au sujet de la supériorité d'un type quelconque d'isolateur suspendu semblent ne devoir être acceptées qu'avec grandes réserves.

Les porcelainiers électrotechniciens savent que la plupart des modèles d'isolateurs suspendus ont chacun leurs avantages, mais, à leur avis, il serait hasardeux d'affirmer aujourd'hui la supériorité d'un modèle quelconque sur ses concurrents.

Ceux d'entre eux, en particulier, qui fabriquent deux ou trois modèles bien distincts d'isolateurs suspendus sont tout à fait à leur aise pour donner leur opinion sur la question.

La documentation et les études patientes qui sont nécessaires pour la mise au point de la fabrication des isolateurs suspendus procurent aux porcelainiers

électrotechniciens des données dont la valeur dépasse incontestablement celle des conclusions que peuvent tirer les électriciens d'un calcul contenant plusieurs inconnues sur le choix desquelles une série d'hypothèses peut être faite.

Par exemple, dans son calcul classique de 1912, M. Peek a montré que la distribution de la tension était inégale le long d'une chaîne d'isolateurs suspendus et il a donné une série de courbes pour des valeurs variables du rapport de la capacité C_2 d'un élément à la capacité C_1 par rapport au sol.

A cette époque, M. Peek n'a jamais donné des valeurs séparées pour C_2 et C_1 et il se contentait d'indiquer que le rapport de C_2 à C_1 était probablement compris entre 5 et 10 ; il pressentait, sans doute, la difficulté de mesurer exactement l'une et l'autre valeur.

Il est curieux de constater que, si l'on part des valeurs d'amorçage données par les fabricants pour n'importe quel type d'isolateurs suspendu et si on reporte ces valeurs dans le calcul de M. Peek, on retrouve sensiblement les mêmes valeurs que lui pour le rapport de C_2 à C_1 ; ce qui tendrait à indiquer que ce rapport reste constant dans certaines limites quel que soit le type d'isolateur employé. D'ailleurs, en pratique, la mesure de la répartition des tensions le long des chaînes de divers modèles donne des résultats sensiblement équivalents pour tous ces modèles.

Bref, nous constatons que, depuis 1912, plusieurs ingénieurs ont tourné et retourné dans tous les sens le calcul de M. Peek et que M. Peek lui-même, en 1921, s'est borné à étudier des dispositifs pour la mesure de la répartition du potentiel ou pour l'égalisation de cette répartition.

La question est donc loin d'être résolue et les ingénieurs qui ne perdent pas de vue le côté pratique des problèmes industriels sont peut-être fondés à poser le problème d'une autre manière.

Admettons pour le moment, c'est-à-dire pour plusieurs années encore, qu'il s'agit pour les électriciens d'employer des isolateurs suspendus répondant aux données développées ci-dessous.

II. Données pratiques du problème. — 1° Ces isolateurs doivent, au point de vue mécanique, posséder un coefficient de sécurité élevé par rapport à la tension mécanique de rupture.

2° Étant donné que l'isolateur le plus voisin de la ligne absorbe une proportion notable de la tension, de 30 à 40 pour 100 environ, et étant donné qu'il faut compter également sur les surtensions en ligne qui peuvent porter la tension entre électrodes au voisinage de la tension totale de la ligne et qui peuvent être en outre de nature oscillatoire à fréquence élevée, ces isolateurs doivent pouvoir, d'une part :

a) Donner un amorçage élevé, surtout à sec, parce que, en vertu de la mauvaise distribution de la tension le long des chaînes, c'est surtout à sec que se présentent les plus mauvaises conditions de distribution et l'on sait qu'au contraire sous pluie la distribution est très égalisée;

b) D'autre part, posséder un coefficient de sécurité élevé au point de vue de la tension disruptive ou de percement, tant à fréquence normale qu'à haute fréquence.

3° Au point de vue durée en service, ces isolateurs doivent être prévus de telle façon que leur fabrication élimine, autant que possible, toute cause de déchets dus aux inconvénients suivants :

a) Chocs, jets de pierres, coups de fusils;

b) Efforts mécaniques dus à la tension combinée du poids du conducteur et du vent sur les conducteurs à toutes les températures dans certaines limites (ce paragraphe se confond avec la première condition déjà énoncée);

c) Contraction inégale du ciment et du métal

employé pour les scellements; formes d'isolateurs avec épaisseurs de porcelaine permettant de subir sans inconvénient de brusques variations de température;

d) Et, enfin, isolateurs donnant le minimum de déchet par suite du phénomène connu sous le nom de vieillissement.

À ce sujet nous reconnaissons que la théorie américaine, qui soutient qu'en cours d'exploitation la structure du diélectrique se modifie par suite des tensions élevées et des vibrations moléculaires dues à la tension électrique et au balancement des conducteurs, est très commode pour expliquer des déchets en cours d'exploitation.

La théorie des électriciens qui attribuent les ruptures d'isolateurs à la mauvaise répartition du flux électrique dans l'isolant et à l'hystérésis du diélectrique qui retarde l'amorçage et fait supporter (au dernier élément surtout) toute la surtension (A. FONTVIELLE, *R. G. E.*, 29 octobre 1921, t. x, p. 599) est une théorie purement électrique, et les céramistes ont aussi leur mot à dire sur la question (§ 4).

Quoi qu'il en soit, le fabricant ne doit pas avoir de préjugés; il prendra les causes des défauts quelles qu'elles soient et il dira aux électriciens :

« En attendant que vous ayez trouvé pour nous la manière pratique de répartir également le potentiel le long des chaînes, voilà tous les défauts que nous avons prévus et tous ceux que vous nous avez signalés; nous allons donc essayer de vous fabriquer un isolateur qui résiste bien en moyenne à tous ces défauts. »

À la vérité un tel isolateur sera, sinon un isolateur parfait, du moins il possèdera beaucoup d'avantages, ce qui est déjà quelque chose.

III. Coefficients pratiques de sécurité. — Examinons maintenant brièvement les coefficients de sécurité qu'il y a lieu d'envisager pour le choix d'un isolateur.

a) Au point de vue mécanique d'abord, les règlements officiels français, en ce qui concerne les isolateurs, comme les pylônes, exigent un coefficient de sécurité pour la tension mécanique à la rupture beaucoup trop élevée.

Beaucoup d'ingénieurs parlent couramment d'une traction mécanique à la rupture de 4 000 à 5 000 kg et certains parlent même de 6 000 kg.

Si l'on se rappelle que les sections les plus fortes de câbles employés dépassent rarement 150 mm² à 250 mm² et que la tension mécanique due au vent et au poids combinés ne dépasse pas 8 à 10 kg/mm², on voit donc qu'en ancrage, pour observer le coefficient de sécurité 5, un isolateur devrait céder à la rupture à 12 500 kg, ce qui est impossible.

Avec l'emploi des chaînes en parallèle montées à l'aide de palonniers, on arrive tout de même à observer le coefficient 5.

Satisfaction est donc donnée aux exigences imposées pour la sécurité mécanique des ouvrages, mais nous montrerons que cette satisfaction est donnée au détri-

ment absolu de la sécurité de l'isolateur au point de vue disruptif.

Certains ingénieurs font aussi une grande objection à l'emploi d'isolateurs dans lesquels la tension mécanique est uniquement répartie sur une surface en porcelaine. On semble craindre que, même pour des efforts normaux de 1 500 kg à 2 500 kg, par exemple, la porcelaine puisse céder tout d'un coup. C'est une grande erreur qui est contredite par des expériences de laboratoire journalières faites avec des machines à essayer.

La porcelaine est tout à fait comparable au point de vue travail mécanique à la fonte et, tant que le coefficient de sécurité n'est pas dépassé, une pièce en porcelaine se comporte à la traction absolument comme une pièce en fonte.

Nous signalons ces divers points parce que, d'un côté, l'augmentation exagérée du coefficient de sécurité mécanique demandé aux isolateurs et, de l'autre, l'emploi de pièces métalliques supportant seules ou pour la plus grande part la tension mécanique des conducteurs, conduisent à des formes d'isolateurs pour lesquelles il est très difficile de réaliser des coefficients de sécurité électriques élevés.

b) En ce qui concerne l'amorçage à sec, tous les isolateurs suspendus, à quelque forme qu'ils appartiennent, peuvent donner des valeurs élevées puisque celles-ci dépendent de la distance entre électrodes et de la résistance superficielle au courant de conduction entre ces électrodes. Il suffit donc de prévoir ces isolateurs pour un amorçage à sec élevé, le calcul de Peek montrant que plus l'amorçage individuel est élevé, plus l'amorçage de la chaîne est également élevé, malgré la mauvaise répartition du potentiel entre isolateurs.

Nous avons donc un premier coefficient ou rendement de la chaîne

$$F = \frac{E_n}{n \times e},$$

où E_n est l'amorçage total d'une chaîne de n éléments, e étant l'amorçage individuel.

E_n est déterminé par un deuxième coefficient de sécurité, c'est-à-dire le rapport entre la tension d'amorçage total de la chaîne et la tension de service du réseau.

Nous ne croyons pas que ce coefficient ait été jamais standardisé et beaucoup d'exploitants recherchent l'amorçage total le plus élevé possible sans se rendre compte qu'ils commettent là une grave erreur. En effet, ils sont amenés, de ce fait, à prendre un très grand nombre d'éléments par chaînes et, de ce fait également, ils augmentent la mauvaise distribution du potentiel le long de la chaîne et les chances de percement sur le dernier isolateur qui est le plus rapproché de la ligne.

Il semble que l'on puisse raisonnablement fixer ce coefficient de sécurité à 3, c'est-à-dire, si E_n est la tension d'amorçage total d'une chaîne à sec ; E , la tension de

service entre phases et non entre phase et neutre, nous devons avoir

$$\frac{E_n}{E} = 3.$$

Par exemple, pour $E = 100\,000$ v, E_n doit être égal à 300 000 v environ.

Remarquons que, sous pluie, presque tous les isolateurs suspendus donnent environ le même amorçage individuel ; ceci, parce que les lignes de fuite sont égalisées et, pour les chaînes les courants de circulation étant également égalisés, les amorçages totaux sont très sensiblement les mêmes.

On pourra d'ailleurs se contenter pour cet amorçage de valeurs bien moins élevées et le rapport $\frac{E_n}{E}$, E_n

étant l'amorçage d'une chaîne totale sous pluie, ressort environ entre 2 et 2,5, ce qui est largement suffisant.

c) Incontestablement le coefficient de sécurité pratique le plus important au point de vue électrique est le rapport entre la tension d'amorçage à sec pour un élément e et la tension de percement dans l'huile E_d .

L'article de M. Fontvieille déjà cité est un des premiers articles publiés sur cette question dans une revue technique française ; il attire enfin l'attention des ingénieurs électriciens sur les dangers de perforation de l'élément le plus rapproché de la ligne, mais M. Fontvieille oublie de nous dire le coefficient auquel devrait répondre un isolateur suspendu pour se garantir contre cet accident.

Le rapport $\frac{E_d}{e}$ tension disruptive dans l'huile à tension d'amorçage à sec ne doit pas être inférieur à 2,5 à basse fréquence et ne doit pas être inférieur à 2 à haute fréquence.

C'est un coefficient de sécurité dont l'importance est au moins égale à celle du coefficient de sécurité mécanique à la rupture.

Or les exigences exagérées au point de vue mécanique ou le manque de confiance dans la résistance mécanique de la porcelaine ont conduit certains ingénieurs à adopter comme supérieurs à tous égards ou bien l'isolateur à conduits inférieurs, ou bien l'isolateur cape et ferrure ; mais l'un et l'autre de ces isolateurs ont, d'abord, une distribution du flux électrique excessivement mauvaise parce qu'elle ne suit pas, même de loin, la forme du champ entre deux électrodes planés et, de plus, ils ont des épaisseurs de porcelaine telles que le rapport $\frac{E_d}{e}$ pour ces deux modèles d'isolateurs à basse fréquence est à peine de 1, 3.

Quant au même rapport à haute fréquence, il est tellement pitoyable qu'il vaut mieux n'en pas parler.

A ce sujet, signalons que c'est par temps sec lors d'un orage en formation, lors de la chute de la foudre et avant que la pluie ait commencé à tomber que se produisent sur les lignes des surtensions d'ordre atmosphérique de nature oscillatoire, dont la fréquence peut atteindre des valeurs très élevées.

Des expériences à l'oscillateur même avec une simple bobine montrent que bien peu d'isolateurs résistent à la haute fréquence et aucun électricien exploitant ne saurait nous dire si ses déchets en isolateurs ne sont pas dus à des surtensions répétées qui finissent par faire claquer la porcelaine.

Enfin, ce qui montre l'exagération qu'il y a à exiger un coefficient de sécurité aussi élevé pour la tension mécanique à la rupture, c'est que, si l'on soumet un isolateur du genre cape et ferrure ou à conduits intérieurs de quelque fabrication soit-il (américaine, allemande ou autre), à une tension mécanique de plus de 2 500 kg, il y a toute chance pour qu'il se perfore à une tension disruptive inférieure à celle de son amorçage à sec.

Soumettre ces isolateurs à de telles tensions mécaniques c'est donc les exposer immédiatement à une perforation rapide.

IV. Déchets et durée. — En ce qui concerne la sécurité contre des causes autres que la tension mécanique des conducteurs et les phénomènes de surtensions, il est évident que l'électricien a intérêt à employer un isolateur essentiellement robuste qui résiste au coup de fusil, jet de pierre, chute, choc et variations de température. Cet isolateur devra également résister en service à des amorçages d'arc violents qui font sauter les jupes minces, fondent les maillons en cuivre, etc.

L'isolateur comportant des parties métalliques scellées devra donner le minimum de déchet possible en service et après plusieurs années.

Ces déchets peuvent survenir par suite de la dilatation inégale du ciment, des parties métalliques et de la porcelaine.

Signalons, cependant, que presque tous les électrocéramistes ont résolu aujourd'hui les difficultés que présentait le scellement des isolateurs par l'emploi de ciment spécial, garniture élastique dans le scellement, emploi de matières plastiques entre la porcelaine, le ciment et les parties métalliques, soins spéciaux et très grandes précautions pendant la durée du scellement. Dans tous les cas, certains isolateurs tels que les isolateurs à griffes Jeffery-Dewitt employant pour le scellement un alliage ne présentant aucun retrait ne sont plus du tout sujets à ces inconvénients.

Reste la question du vieillissement. Nous avons déjà mentionné deux théories qui tendent à expliquer différemment ce phénomène. Il est un fait certain, c'est que le vieillissement n'existe pas dans les isolateurs de ligne du type sur ferrure.

Il est intéressant de rappeler aussi les conclusions que présentait M. Paul Saily dans sa note du 15 janvier 1919 sur le vieillissement des isolateurs à la quatorzième Commission de l'Union des Syndicats de l'Electricité.

« Le vieillissement des isolateurs suspendus de fabrication américaine ou allemande réside dans la production d'une fente ou fêlure survenant sans cause apparente au bout de quelques années d'existence en ligne ou en magasin.

» Cet accident, dans lequel l'électricité ne joue aucun rôle prédominant, est la conséquence de la forme défectueuse de l'isolateur, mal appropriée à un façonnage rationnel de la matière isolante employée.

» En d'autres termes, les fentes qui se produisent en service dans une pièce en porcelaine ont toujours lieu exclusivement dans la direction de la fente de fabrication et jamais dans une autre direction,

» Cette fente de fabrication, par suite d'un défaut de principe initial de fabrication, n'existe que dans les isolateurs suspendus de certaines formes américaine ou allemande.

» Elle provient de ce que ces isolateurs sont fabriqués dans des moules de matière appropriée (fig. 1) dans

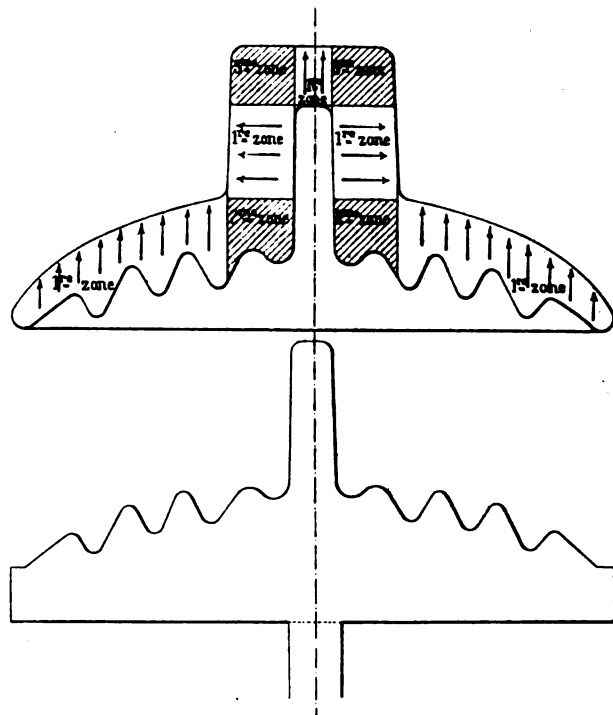


Fig. 1.

lesquels une certaine quantité de pâte à porcelaine est comprimée au moyen d'un tampon à partie mâle très peu développée se déplaçant suivant l'axe du moule.

» Sous l'action de ce tampon, certaines zones de la pâte comprimée subissent une certaine compression suivant les flèches, entre la surface du tampon et la paroi du moule qui toutes deux sont constituées par des matières rigides.

» Mais il existe des deuxièmes zones (parties hachurées supérieures) dans lesquelles les molécules de pâte ne subissent plus les mêmes efforts dans le même sens, car, pour ces zones, la réaction du moule n'existe plus et elle est remplacée par la réaction des zones voisines de l'isolateur constituées, à ce stade de fabrication, par une pâte molle.

» Ces deuxièmes zones sont donc moins comprimées que les premières.

» Quant aux parties de troisièmes zones, également hachurées, en contact avec la paroi rigide du moule, elles ne reçoivent l'effort du tampon que par la couche de pâte voisine, c'est-à-dire amorti.

» Comme les parties de deuxièmes zones, elles seront bien moins comprimées que celles des premières zones. Il y a donc, entre ces diverses zones, possibilité d'une

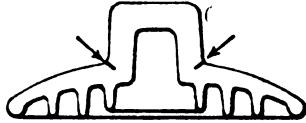


Fig. 2. — Isolateur cape et ferrure.

fente latente de fabrication, masquée par l'élasticité de l'isolant, mais qui est ensuite amplifiée jusqu'à la rupture le jour où des agents extérieurs tels que température, chocs, etc., font dépasser la limite de l'élasticité.

» Dans les isolateurs américains ou allemands du type à cape et ferrure, on constate assez souvent des fentes nombreuses produites dès la fabrication aux endroits indiqués sur les figures 2 et 3.

» Si l'on fait subir à ces isolateurs des essais de traction brusques, on constate un décollement de la por-

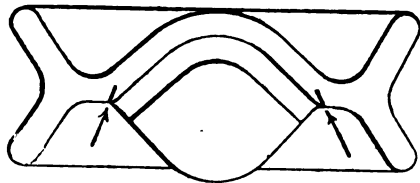


Fig. 3. — Isolateur du type à conduits intérieurs.

celaine qui semblait saine en prolongement de la fente visible.

» Ces fentes coïncident précisément avec des directions indiquées comme étant celles de la rupture par vieillissement.

» Le vieillissement pourrait donc disparaître si l'on pouvait supprimer les zones dangereuses (deuxièmes et troisièmes), c'est-à-dire si l'on pouvait les comprimer convenablement. »

Des améliorations importantes à ce sujet ont été apportées à la forme des isolateurs du type à conduits intérieurs et cape et ferrure de types américains par M. Paul Saily, auteur de la théorie brièvement exposée ci-dessus.

L'isolateur à griffes Jeffery-Dewitt (fig. 4) présente, au point de vue de cette théorie, un très gros avantage sur ses concurrents, car sa forme se prête parfaitement à l'obtention de pression homogène en tous points d'une même section.

V. Conclusions. Quelques chiffres. — Les renseignements qui précèdent ont pour but de donner une

dée générale des différents problèmes qui peuvent se poser à l'ingénieur électricien pour le choix d'un isolateur suspendu.

On ne peut que conseiller une réserve prudente au

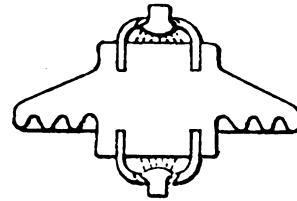


Fig. 4. — Isolateur Jeffery-Dewitt.

sujet de certaines affirmations enthousiastes sur la supériorité de tel ou tel type d'isolateur.

Au point de vue pratique, l'industrie électrocéramique française est actuellement suffisamment documentée et outillée pour fabriquer, au choix des ingénieurs, tous les modèles d'isolateurs suspendus qui sont au moins égaux aux isolateurs de la concurrence américaine ou allemande.

Au moment où des électrifications importantes vont se faire, il y a lieu d'insister sur ce point en demandant aux ingénieurs chargés de l'achat de ces isolateurs de se laisser convaincre, par des essais en laboratoire, de la très bonne fabrication que peuvent effectuer dès maintenant les sociétés françaises de porcelaine électrotechnique.

En ce qui concerne les garanties, les valeurs d'essais qui sont données souvent par des firmes étrangères diffèrent très sensiblement de celles données en France; il y a également lieu de se montrer très réservé au sujet des valeurs indiquées par certains fabricants pour les tensions d'essais à sec, sous pluie, de perçement, etc...

Nous croyons que les valeurs maxima que l'on peut espérer sur ces différents types d'isolateurs sont les suivantes, la durée d'application étant la même

Essais à sec : type Jeffery-Dewitt, 85 kv.

Type cape et ferrure, 70 kv.

Type à conduits intérieurs, 65 à 70 kv.

Essais sous pluie, avec pluie de 5 mm, eau non distillée, pour tous ces modèles environ 45 kv.

Perçement dans l'huile : Jeffery-Dewitt, 200 à 300 kv;

Type cape et ferrure, 100 à 110 kv.

Type à conduits intérieurs, 70 à 80 kv.

Rappelons que, après la tension mécanique de 2 500 kg, l'isolateur Jeffery-Dewitt est le seul qui puisse supporter une tension disruptive oscillatoire de 180 à 200 kv environ, pendant une seconde.

A ce sujet, le coefficient de sécurité minimum auquel on doit s'attendre est donc

Isolateurs Jeffery-Dewitt

$$\frac{E_d}{e} = \frac{180}{85} = 2,12.$$

Isolateurs cape et ferrure

$$\frac{E_d}{e} = \frac{100}{70} = 1,43.$$

Isolateurs à conduits intérieurs.

$$\frac{E_d}{e} = \frac{70}{65} = 1,08.$$

Au point de vue mécanique, le Jeffery-Dewitt casse nettement entre 3600 et 3800 kg sans que ses attaches cèdent; rupture de l'isolateur cape et ferrure, vers 4500 kg environ; rupture de la porcelaine dans l'isolateur à conduits intérieurs vers 4000 kg.

Le coefficient de sécurité mécanique en ancrage pour une ligne donnant un effort de traction de 1500 kg par conducteur (ce qui est déjà important), serait donc

Pour l'isolateur Jeffery-Dewitt

$$\frac{3600}{1500} = 2,4;$$

Pour l'isolateur cape et ferrure

$$\frac{4500}{1500} = 3;$$

Pour l'isolateur genre à conduits intérieurs

$$\frac{4000}{1500} = 2,68$$

Si l'on admet l'importance d'un coefficient de sécurité élevé au point de vue disruptif, on voit donc que, en tenant compte de sa robustesse et de sa résistance au choc et aux variations de température, l'isolateur Jeffery-Dewitt possède, au point de vue sécurité électrique et mécanique, la moyenne la plus élevée.

Dans le cas contraire, les autres types conserveront pendant longtemps la faveur des ingénieurs qui croient à la supériorité des autres modèles.

Nous le répétons, ils peuvent être et sont fabriqués en France, comme d'ailleurs l'isolateur Jeffery-Dewitt, dans d'excellentes conditions et de manière à satisfaire les idées techniques de chacun à ce sujet.

Paul TESTARD,
ingénieur,

Compagnie générale d'Electro-Céramique.

Revue, analyses et informations

Procédé pratique pour la localisation du point de rupture d'un câble triphasé ⁽¹⁾.

Lorsqu'il s'agit de rechercher l'endroit où un câble triphasé s'est rompu, on doit reconnaître que l'on commet de notables erreurs, quelle que soit l'exactitude avec laquelle on opère. La rupture se produit, comme on le sait, le plus souvent à un manchon de raccordement et on localise l'accident entre deux manchons. Il faut alors, au hasard, déterrer l'un d'eux et, s'il n'est pas détérioré, recommencer pour l'autre. De là une notable perte de temps et de travail. En outre, s'il s'agit de câbles à très haute tension, chaque ouverture d'un manchon est un risque de plus d'accidents futurs. Aussi importe-t-il d'effectuer la localisation avec toute la précision possible.

Le principe connu de la recherche des ruptures est la proportionnalité des courants de charge ou de décharge de

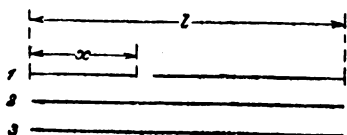


Fig. 1.

capacité, obtenus sur un fil normal et un fil défectueux, et de leurs longueurs, d'après la formule (fig. 1)

$$x = l \frac{a_1}{a_2}.$$

S'il se produit une erreur de mesure, cette relation n'est naturellement plus satisfaite.

1. INFLUENCE DES PERTES. — Si l'isolement du câble est parfait sur les trois phases, l'influence des courants de perte sur le galvanomètre est négligeable devant celle des courants de capacité. La proportion précédente est alors valable; mais, si la résistance d'isolement a diminué pour une cause quelconque, telle que montage défectueux d'un manchon, mauvais contact à la masse, humidité, rupture d'isolateurs à la sortie de terre, les courants de fuite influent sur la déviation du galvanomètre et la relation indiquée n'est plus acceptable. Les valeurs des résultats obtenus sont très diverses.

Supposons dans un premier cas que le câble se soit rompu dans le manchon b sur la phase 1 (fig. 2) et que, sur le tronçon B — b, par exemple dans le manchon c, la résistance d'isolement soit relativement moins grande que dans le tronçon A — b. Mesurons le courant de capacité en bout de ligne, en A. La phase 1, qui, par suite de la rupture en b, reste bien isolée, donne une déviation a_1 , la phase 2, qui a un isolement moindre, donne une déviation a_2 ; plus grande que a_1 correspondant à un bon isolement, le rapport $\frac{a_1}{a_2}$ est plus petit que $\frac{a_1}{a_2}$ et x' plus petit que x , c'est-à-dire que la distance mesurée x' du point de rupture, est plus petite que la distance x , réelle. Cette longueur x' donnera un point qui sera entre le manchon défectueux, b, et le suivant, a. Même si ce point tombe dans le voisinage du manchon a, il n'y a pas de raison d'ouvrir ce dernier, mais on défait b sans hésitation.

Supposons, dans un second cas, que les conditions soient

(1) L. LEWIS, E. T. Z., 6 octobre 1921, t. XLII, p. 1132-1134, 8 fig.

les mêmes que précédemment, mais que l'on fasse les mesures à l'extrémité B. Plus y sera petit devant l , plus grande sera l'influence des courants de pertes du câble rompu sur la déviation du galvanomètre. Pour des résistances d'isolement égales sur les trois phases, la déviation a'_1 , obtenue sur la phase 1, en effectuant la mesure en B, sera donc supérieure à celle qui ressortirait à sa capacité réelle, c'est-à-dire que, dans ces conditions, a'_1 sera plus grand que a_1 correspondant à une phase non rompue. Le rapport $\frac{a'_1}{a_2}$ atteint une valeur trop grande et $y' = l \frac{a'_1}{a_2}$ est

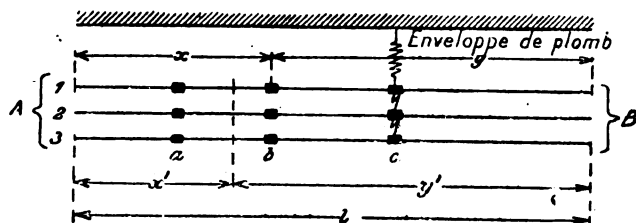


Fig. 2.

capacité et par les fuites. Elle est donc plus grande que la déviation a_1 , qui, dans les mêmes circonstances, correspondrait à une bonne isolation. Le rapport $\frac{a'_1}{a_2}$ et par consé-

quent x' sont plus grand que $\frac{a_1}{a_2}$ et x , respectivement. La longueur indiquée est trop grande; le point calculé tombe plus ou moins près du manchon c, suivant la valeur de la résistance d'isolement W . On ouvre donc le manchon b.

Si les trois phases à la fois sont rompues, on peut opérer de l'une des manières précédentes, que l'on veuille calculer x ou y .

Si l'isolement du câble est assez mauvais pour que le courant de perte soit notable devant celui de capacité, on utilise alors, non plus la charge, mais la décharge, bien qu'elles soient proportionnellement moins grandes que dans le cas où l'on opère sur la charge. La figure 3 indique la manière

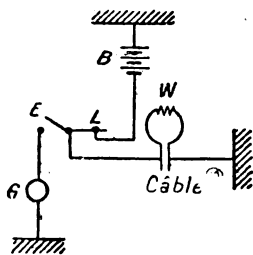


Fig. 3.

de procéder. Le câble est d'abord chargé par le contact L, puis déchargé dans le galvanomètre par le contact E. Mais pendant le temps compris entre l'instant où la charge est interrompue et celui où la décharge dans le galvanomètre commence, le câble se conduisant comme un condensateur, se décharge par la résistance d'isolement W , comme l'indique la figure 4. La portion de courbe a a' plonge d'autant plus vite que la résistance W est plus petite, comme l'indiquent les positions 1, 2, 3 qu'elle peut prendre. Par conséquent, au moment où la mesure s'effectue par le contact E,

plus grande que $y = l \frac{a_1}{a_2}$; y tombe donc entre les manchons b et a. La longueur calculée est trop grande; il faut donc ouvrir les manchons en deçà de y , c'est-à-dire le manchon b qui, tout à l'heure, se trouvait au delà de x .

Supposons, dans un troisième cas, que la phase 1, rompue, ait en plus un isolement défectueux dans le tronçon A — b, ce qui se présente assez souvent, surtout s'il y a un autre conducteur rompu. L'isolement de la phase 2, intacte, est bon (fig. 2 a). On effectue les mesures en A. La déviation a'_1 , obtenue sur la phase 1, est provoquée par le courant de

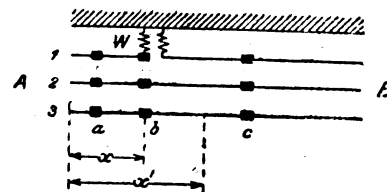


Fig. 2a.

la charge du câble n'est plus définie par a , mais par a' , et de plus la résistance W continue encore à fausser les résultats, car elle se trouve alors en parallèle avec le galvanomètre. La déviation obtenue est donc d'autant plus petite que l'isolement du câble est plus mauvais.

Si on effectue la mesure à partir de A, la déviation a'_2 , due

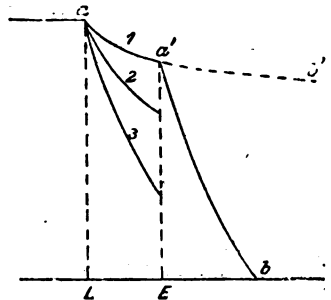


Fig. 4.

à la décharge de la phase 2, par suite des pertes dans le manchon c, est plus petite que a_2 , correspondant à un bon isolement du câble, c'est-à-dire que dans la formule

$$x' = l \frac{a'_1}{a'_2}$$

$\frac{a_1}{a_2}$ et, par conséquent, x' sont plus grands que $\frac{a_1}{a_2}$ et x . Donc, en procédant par décharge, le point calculé tombe au delà, c'est-à-dire entre les manchons b et c, tandis qu'avec la charge il tombait en deçà. On doit donc ouvrir le manchon le plus proche, c'est-à-dire b. Si on opère en B, dans les mêmes conditions que dans le deuxième cas, le défaut d'isolement diminue le courant de décharge et le point tombe trop près, c'est-à-dire entre b et c. On doit donc ouvrir le manchon qui se trouve plus loin, c'est-à-dire b. Si les conditions sont les mêmes que dans le troisième cas (fig. 2 a) et que l'on opère en A, la déviation a'_1 est trop petite, et l'on doit ouvrir le manchon b qui se trouve plus loin. On

opère d'une manière analogue si les trois conducteurs du câble sont rompus.

Nous voyons donc l'imprécision obtenue, que l'on effectue la mesure en A ou en B, sur la charge ou la décharge. On doit chaque fois juger, suivant l'endroit où l'on opère, si c'est le manchon avant ou après le point calculé que l'on doit ouvrir. Avec une certaine pratique et en discutant chaque fois les résultats des mesures, on arrive à une assez grande sûreté dans l'évaluation de l'influence du courant à la terre, suivant la valeur de la résistance d'isolement et le diamètre du câble. D'ailleurs cette résistance d'isolement du câble ne doit pas tomber au-dessous d'une certaine limite par rapport à sa capacité, car, comme on le voit par l'allure des courbes 1, 2, 3 de la figure 4, la charge encore conservée au moment de la décharge décroît très rapidement à mesure que la résistance d'isolement diminue et qu'il ne peut être question de proportionnalité. La résolution mathématique de cette question, si intéressante qu'elle puisse être au point de vue théorique, ne conduit qu'à des formules compliquées sans utilité pour le praticien. Aussi faut-il se contenter des indications obtenues expérimentalement, comme ci-dessus.

Une autre cause d'imprécision est que la tension adoptée pour la charge, ou la décharge, et dont dépend l'élongation de la déviation du galvanomètre, ne peut être aussi grande avec une phase ayant une petite perte à la terre qu'avec une phase ayant un bon isolement. Pour les mesures à pied d'œuvre, la batterie est mise en série avec une résistance de protection R de plusieurs milliers d'ohms (de 6 000 à 9 000 ohms) (fig. 5). Pour la charge du câble (de la phase 1

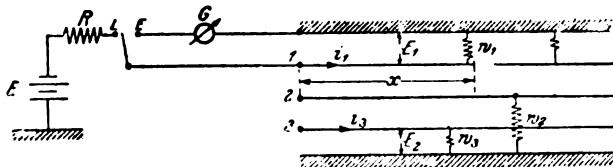


Fig. 5.

par exemple), le courant de perte détermine, dans la résistance de protection (et dans la résistance intérieure qui dépend de l'âge de la batterie), une chute de tension telle que

$$e_1 = i_1 R.$$

L'intensité du courant de perte est

$$i_1 = \frac{E}{R + W_1};$$

d'où l'on tire

$$e_1 = \frac{E}{R + W_1} R.$$

Le câble est chargé avec une tension de

$$E_1 = i_1 W_1 = \frac{E}{R + W_1} W_1 \text{ volts.}$$

Si la phase est bien isolée, W_1 est très grand devant R et l'on a

$$E_1 = E.$$

Si, par contre, l'isolement est mauvais, E_1 est plus petit

que E et la déviation, pour cette phase, est inférieure à celle qui correspondrait à un bon isolement. Expliquons ceci par un exemple relatif au premier cas. La phase 1, rompue, est bien isolée, alors que les deux autres le sont beaucoup moins (fig. 5). On a

$$i_1 = \frac{E}{R + W_1}.$$

$$i_3 = \frac{E}{R + W_3}.$$

$$E_1 = i_1 W_1 = \frac{E}{R + W_1} W_1.$$

$$E_3 = i_3 W_3 = \frac{E}{R + W_3} W_3.$$

Les déviations obtenues a_1 et a_3 sont :

$$a_1 = c x E_1 \quad \text{et} \quad a_3 = c E_3,$$

où c peut être considéré comme une constante, si on néglige l'influence du courant de perte. Par conséquent, on a

$$x = I \frac{a_1}{a_3} \frac{E_3}{E_1} = I \frac{a_1}{a_3} \frac{W_3}{W_1} \frac{R + W_1}{R + W_3}.$$

L'expression

$$k = \frac{W_3}{W_1} \frac{R + W_1}{R + W_3},$$

représente le facteur de correction. Si l'isolement du câble est bon sur toutes les phases, R est négligeable devant W_1 et W_2 et l'on a

$$k = 1,$$

c'est-à-dire que l'on peut appliquer la formule

$$x = I \frac{a_1}{a_3}.$$

Si, par contre, W_3 est moins grand, R n'est plus négligeable et l'on a

$$x = I \frac{a_1}{a_3} \frac{W_3}{W_1} \frac{R + W_1}{R + W_3} = I \frac{a_1}{a_3} \frac{W_3}{R + W_3}.$$

Exemple : $R = 10\,000$ ohms (la résistance intérieure de la batterie comprise) ; $W_3 = 200\,000$ ohms. On a

$$k = \frac{W_3}{R + W_3} = \frac{200\,000}{210\,000} = 0,95.$$

Donc, si dans ces conditions on ne tient pas compte de la variation de tension de charge et si l'on applique la formule

$$x = I \frac{a_1}{a_3},$$

la longueur x est de 5 pour 100 trop forte. En comparant ce résultat avec ce qui a déjà été dit dans le premier cas au sujet de l'influence du courant de conduction, on arrive à la conclusion suivante :

Avec la méthode de la charge, l'erreur commise en identi-

fiant les tensions, contre-balance en plus ou moins l'erreur que l'on fait en négligeant le courant de perte; mais avec la méthode de la décharge, les deux erreurs s'ajoutent.

D'autre part, l'isolement ne peut être poussé au delà d'une certaine limite, par exemple d'un ordre de grandeur de 100 000 ohms pour les câbles longs, ou de 1 à 2 mégohms pour les câbles courts; aussi l'erreur causée par la différence de tension effective est négligeable devant celle qu'entraîne le courant de perte. Cette cause d'erreur n'a donc été examinée que pour bien considérer tout ce qui intervient et on peut d'ailleurs l'éliminer en court-circuitant la résistance de protection R .

Expliquons les considérations précédentes par un exemple pratique :

Un câble haute tension de $3 \times 50 \text{ mm}^2$ s'était rompu dans le manchon b (fig. 6). L'isolement de la phase 1, à

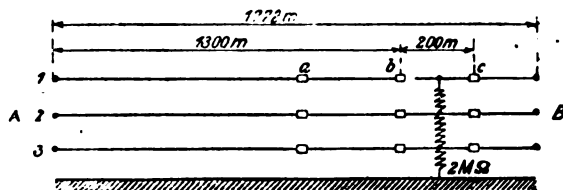


Fig. 6.

partir de A, était bon; par contre, celui des phases 2 et 3 était descendu à 2 mégohms. A la décharge, on a obtenu les déviations

$$a_1 = 75 \times 100,$$

$$a_2 = 90 \times 100,$$

Le calcul donna

$$x = l \frac{a_1}{a_2} = 1\,772 \frac{75}{90} = 1\,477 \text{ m.}$$

Le point tombait donc presque sur le manchon c. En tenant compte de ce qui a été dit au sujet de la mesure à la décharge sur l'influence des fuites, ce fut le manchon précédent qu'on ouvrit et l'on y trouva bien le défaut.

II. INFLUENCE DE L'IRRÉGULARITÉ DE LA RÉPARTITION DE LA CAPACITÉ. — 1° Si le câble défectueux est composé de plusieurs tronçons de sections différentes, comme sur la plupart des grands réseaux, la capacité linéique n'est plus constante et la proportionnalité n'existe plus entre les longueurs des conducteurs et les elongations du galvanomètre.

On doit alors déterminer une capacité linéique moyenne.

Exemple : le câble est constitué (fig. 7) par deux tron-

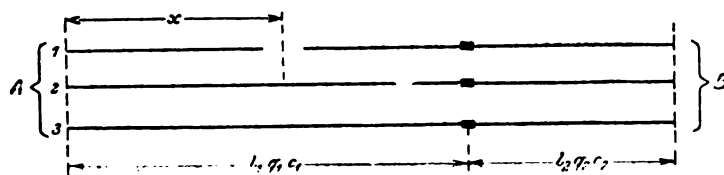


Fig. 7.

cons et les longueurs. En appliquant la formule $x : l = a_1 : a_2$, l'erreur en centièmes est

$$f = 100 \frac{1}{a - p(a-1)},$$

cons l_1 et l_2 , de sections q_1 et q_2 et de capacités linéiques c_1 et c_2 . L'isolement est bon. On ramène la longueur l_2 à une longueur l'_2 fictive, équivalente, qui aurait c_1 comme capacité linéique, de manière que

$$l_2 c_2 = l'_2 c_1.$$

Par conséquent

$$l'_2 = l_2 \frac{c_2}{c_1}.$$

La longueur virtuelle du câble est

$$L' = l_1 + l'_2 \text{ au lieu de } L = l_1 + l_2.$$

La mesure donne les déviations a_1 et a_2

$$a_1 = x' c_1,$$

$$a_2 = L' c_1.$$

Donc

$$x' = L' \frac{a_1}{a_2}.$$

Si $x' \leq l_1$, $x' = x$, le calcul donne immédiatement la distance du défaut. Si $x' > l_1$, la longueur $x' - l_1$, qui correspond au tronçon l_2 doit être ramenée à sa longueur réelle de capacité c_2 et l'on obtient

$$x = l_1 + (x' - l_1) \frac{c_1}{c_2}.$$

Si, avant d'effectuer la mesure, nous avons ramené tout le câble à la capacité c_2 , x_1 aurait été une longueur fictive lorsque $x' \leq l_1$, que l'on aurait dû réduire de nouveau à la capacité c_1 ; mais si $x' > l_1$, on aurait eu aussitôt la distance du point défectueux à partir de B par $l'_1 + l_2 - x'$.

2° Lorsque la rupture du câble a lieu dans un manchon, il se forme souvent, entre une des extrémités de la phase rompue et la terre, un pont conducteur produit par l'arc de rupture qui a fondu le cuivre ou le plomb, tandis que l'autre extrémité a conservé un bon isolement. La même chose peut arriver lorsque l'eau pénètre dans le manchon rompu, mais d'un côté seulement (fig. 8). La déviation a_1 , obtenue sur la phase 1, est proportionnelle à la capacité du tronçon x par rapport à la terre et la déviation a_2 est égale à celle que l'on obtient sur la phase 2 par capacité par rapport à la terre et, le long du tronçon $l - x$, encore par rapport à la partie mise à la terre de la phase 1. Il n'y a, par conséquent, plus aucune proportionnalité entre les dévia-

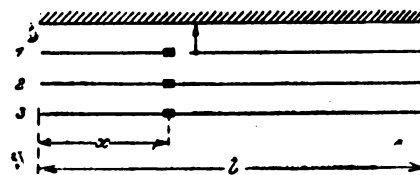


Fig. 8.

où $a = c'$; c est le rapport des capacités d'une phase adjacente à une phase à la terre, et d'une phase intacte; et $p = x : l$. Dans le cas d'un câble à 6000 v, de section $q = 3 \times 120 \text{ mm}^2$, $a = 1,15$ et f peut aller, suivant la

valeur de p , jusqu'à 14,5 pour 100 (valeur limite avec $p = 0$).

Pour écarter ces causes d'erreur, il suffit, lorsqu'on effectue la mesure sur la phase 1, de mettre la phase 2 à la terre, et inversement. Par cette opération, la capacité linéique des deux phases est constante tout le long du câble et la condition de proportionnalité entre les longueurs et les déviations est satisfaite de nouveau. On procède d'une manière analogue en cas de rupture totale du câble.

B. H.

Conceptions physiques du fonctionnement du moteur asynchrone ⁽¹⁾.

La méthode indirecte d'étude du fonctionnement du moteur asynchrone monophasé, imaginée par E. Arnold et Eichberg et modifiée récemment par Lamme, consiste à considérer le moteur asynchrone monophasé comme un cas particulier du moteur polyphasé, c'est-à-dire comme une machine à champ tournant. Il peut être préférable de recourir à une méthode plus directe. Parmi les méthodes directes, celle qui a été imaginée par Potier et Gorges et développée par Fynn, Mc Allister et d'autres, étudiée avec soin l'action de l'élément secondaire rotatif dans la production d'un champ à angle droit dans l'espace et le temps avec le champ statique.

Ce champ à angle droit étant généralement appelé flux du champ de vitesse ou flux transversal, on peut désigner la méthode directe par l'expression « théorie du flux transversal » et la méthode indirecte par l'expression « théorie du champ tournant ».

On sait que le diagramme du cercle détermine le fonctionnement du moteur asynchrone avec une exactitude bien supérieure aux besoins de l'ingénieur praticien. Ce diagramme est déterminé quand les trois points caractéristiques suivants sont donnés : le point de courant à vide ou de vitesse synchrone, le point de courant à rotor bloqué ou de court-circuit et le point de courant à vitesse infinie. En

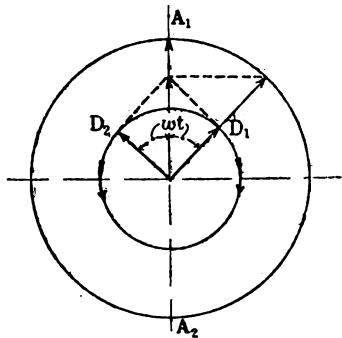


Fig. 1.

se basant soit sur la théorie du champ tournant, soit sur celle du flux transversal, on peut obtenir des expressions analytiques des trois valeurs de courant caractéristiques. Arnold a montré que les valeurs caractéristiques du courant sont les mêmes quand on les calcule au moyen des formules obtenues par l'une ou l'autre méthode.

La théorie du champ tournant est d'un maniement plus

⁽¹⁾ J. LEROVICA, *Journal of the A. I. E. E.*, novembre 1931, t. XL, p. 851-853, 7 fig.

délicat et peut conduire à des résultats qui sont en désaccord avec l'expérience si on ne les interprète pas avec grand soin. Voici un exemple d'interprétation erronée.

La théorie du champ tournant admet qu'un champ alternatif monophasé OA (fig. 1) peut être considéré comme composé de deux champs $OD_1 = OD_2 = 1/2 OA$, de valeur constante et tournant avec une vitesse uniforme en sens opposés.

Considérons alors les forces électromotrices engendrées dans le secondaire du moteur à bagues que représente la figure 2, le bobinage primaire W_1 étant relié à une ligne

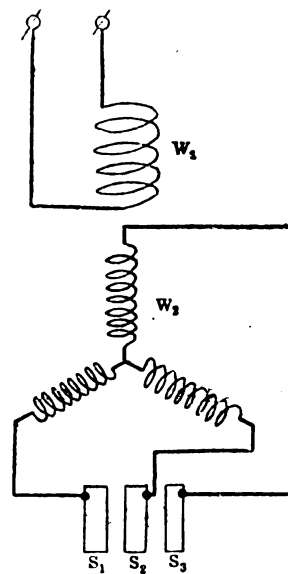


Fig. 2.

monophasée et le secondaire W_2 étant immobile et en circuit ouvert. Pour rendre la chose mieux sensible, la figure 3 représente le noyau du rotor assez long pour recevoir

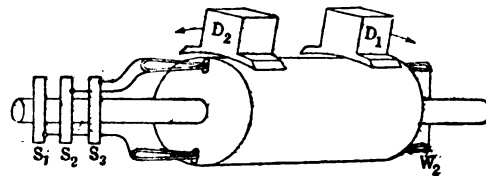


Fig. 3.

l'action de deux champs tournants réels D_1 et D_2 , de valeur constante et de sens de rotation opposés. Si l'on applique ce qu'on sait des moteurs asynchrones polyphasés au champ D_1 , on pourrait s'attendre à ce qu'il engendre un système de tensions équilibrées dans le bobinage secondaire W_2 . De même, le flux tournant D_2 produirait un système de tensions équilibrées dans le même bobinage W_2 . En conséquence, on pourrait s'attendre à trouver une tension équilibrée entre les bagues S_1 , S_2 et S_3 , ou autrement une tension nulle.

L'expérience, ainsi qu'une considération attentive de la figure 2, montreront que les tensions secondaires ne sont ni nulles, ni équilibrées et que les tensions effectives mesurées

entre les bagues S_1 , S_2 et S_3 dépendent de la position du rotor par rapport à celle du stator.

Le désaccord est dû à une application incorrecte de la théorie du champ tournant et montre aussi le défaut de la

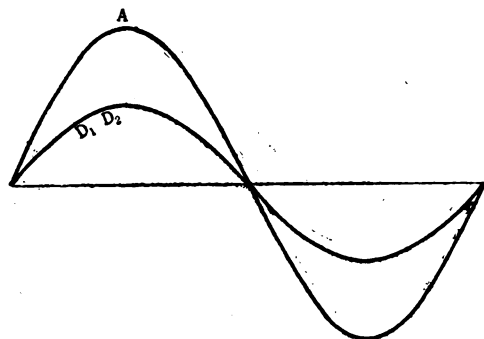


Fig. 4.

méthode indirecte. A l'instant que représentent la figure 4 et la figure 5, le flux magnétique A , engendré par le bobinage primaire W_1 , est à sa valeur maximum. Selon la figure 1, les deux champs composants D_1 et D_2 seront en coïncidence à la fois dans l'espace (voir fig. 5) et dans le temps (voir fig. 4). Puisque dans la figure 5, à l'instant considéré, les champs D_1 et D_2 sont tous les deux positifs par rapport au bobinage rotorique W_2 et tournent en sens opposés, la valeur instantanée des forces électromotrices engendrées dans W_2 sera nulle.

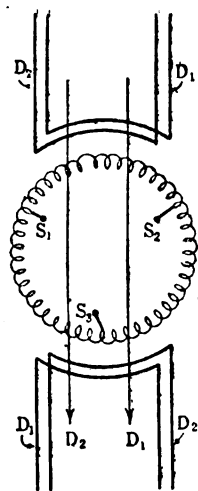


Fig. 5.

Un quart de période plus tard, la valeur du flux A a décliné jusqu'à zéro et, d'après la figure 1, les champs tournants D_1 et D_2 auront les valeurs de phase et les positions dans l'espace qu'indiquent les figures 6 et 7. Si D_1 est considéré comme positif par rapport aux bobinages rotoriques W_2 , le flux D_2 devra être regardé comme négatif. Comme le champ D_1 est positif et tourne dans le sens des aiguilles d'une montre tandis que le champ D_2 est négatif et tourne en sens inverse, les forces électromotrices engendrées dans les bobinages W_2 s'ajouteront le long d'un axe vertical dans la figure 7. Il est évident d'après la figure 7 que les forces électromotrices engendrées s'ajou-

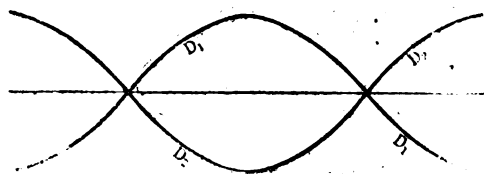


Fig. 6.

tent entre les bagues S_1 - S_3 et S_2 - S_3 , mais s'opposent l'une à l'autre entre les bagues S_1 - S_2 . Ceci explique pour-

quoi les tensions efficaces mesurées entre les bagues S_1 , S_2 et S_3 , dans les conditions supposées, seront déséquilibrées.

Si l'on procède par la méthode directe, on considérera la figure 2 comme la représentation d'un transformateur statique ayant son secondaire ouvert et, puisque les diverses phases secondaires ne sont pas dans la même relation d'induction par rapport au bobinage primaire, on s'attend natu-

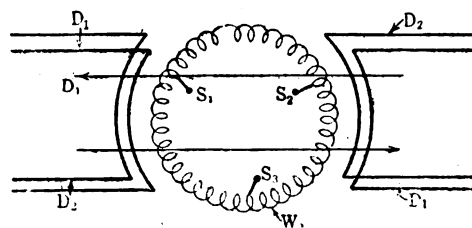


Fig. 7.

rellement à trouver des tensions secondaires déséquilibrées.

En étudiant le fonctionnement du moteur asynchrone (aussi bien polyphasé que monophasé) au moyen de la théorie du champ tournant, on a perdu de vue le rôle important joué par les fuites du secondaire pour améliorer le facteur de puissance de tous les moteurs asynchrones et on ne se rend pas compte des moyens qu'on possède pour améliorer ce facteur de puissance soit par l'emploi d'avanceurs de phase, soit en substituant un bobinage rotorique à collecteur au bobinage rotorique en court-circuit. Au contraire, quand on se sert de la théorie du flux transversal, ces phénomènes sont évidents. C'est une raison pour laquelle la marche des moteurs asynchrones polyphasés (et des moteurs asynchrones monophasés sans et avec collecteur) devrait être étudiée par la méthode directe plutôt que d'une façon détournée au moyen de la théorie du champ tournant.

La seule raison qu'on puisse invoquer pour étudier le fonctionnement du moteur monophasé d'après celui du moteur polyphasé, au lieu de revenir aux lois fondamentales comme le font les partisans de la théorie du flux transversal, c'est qu'on croit la théorie du moteur polyphasé très bien connue. Mais, d'autre part, il faut noter qu'avant de pouvoir bien comprendre le moteur polyphasé, il faut être familiarisé avec les principes du transformateur statique ainsi qu'avec ceux du moteur à courant continu. Remarquons de plus qu'on abandonne la théorie du champ tournant quand on commence à étudier le moteur à collecteur monophasé et qu'on peut établir le fonctionnement de n'importe quel type de moteur en partant des lois fondamentales sans recourir à la théorie du champ tournant; il semble donc logique d'établir aussi le fonctionnement du moteur polyphasé d'après les lois fondamentales sans se servir de la théorie du champ tournant.

Si l'on emploie la méthode indirecte pour décrire le moteur polyphasé, on est obligé de la modifier pour l'adapter au moteur asynchrone monophasé, puis de l'abandonner pour l'étude du moteur monophasé à collecteur. Au point de vue scientifique aussi bien que pédagogique, il faut donc employer la méthode directe pour établir le fonctionnement du moteur polyphasé et du moteur monophasé.

P. L.

Le magnétron ⁽¹⁾.

Le magnétron est un kéatron dont les éléments sont symétriques par rapport à un axe et où la région comprise entre les électrodes est soumise à un champ magnétique parallèle à cet axe.

On le réalise pratiquement au moyen d'un tube à vide cylindrique dans l'axe duquel est disposé le fil de tungstène incandescent constituant la cathode. L'anode est un cylindre métallique fendu suivant une génératrice pour éviter l'action magnétique antagoniste due aux courants de Foucault. L'anode est disposée à l'intérieur du tube et connectée à un fil sortant par une tubulure latérale. Un solénoïde enroulé sur le tube à vide est destiné à la création du champ magnétique suivant l'axe.

Le courant électronique n'est affecté par le champ magnétique que si ce dernier dépasse une certaine valeur ; et dès que cette valeur est atteinte le courant électronique est interrompu. Cette intervention est, théoriquement, instantanée et le défaut de symétrie seul des électrodes entraîne une durée mesurable de la rupture.

Le champ magnétique nécessaire pour produire cette interruption est inversement proportionnel au diamètre de l'anode et directement proportionnel à la racine carrée de la tension appliquée entre les électrodes.

Mais si l'anode est disposée antérieurement à la cathode, la valeur du champ magnétique nécessaire à l'interruption du courant électronique est diminuée proportionnellement au rapport des diamètres de l'électrode extérieure à l'électrode intérieure. Toutefois, la rupture est moins brusque dans ce cas.

L'action du champ magnétique axial s'explique par la force contre électromotrice engendrée par les filets de courant électronique dans leur rotation autour de l'axe sous l'action du champ magnétique parallèle à cet axe. Les choses se passent d'une façon analogue dans une génératrice unipolaire à disque. Mais, dans le magnétron, le mouvement des électrons s'effectue sans résistance et sans inertie, de sorte que la force contre-électromotrice s'établit instantanément, dès que les électrodes sont sous tension, et que sa valeur est exactement égale à la tension appliquée.

La combinaison des forces tangentielles et radiales auxquelles se trouvent soumis les électrons a pour effet d'incurver leur trajectoire radiale. Il a été possible de calculer assez approximativement cette trajectoire sous la forme

$$\rho = R \left(\sin \frac{2}{3} \omega \right)^{\frac{1}{2}},$$

et on a trouvé que les électrons s'éloignent de la cathode suivant une courbe dont la tangente s'éloigne du rayon vecteur jusqu'à lui devenir perpendiculaire ; à partir de ce point, les électrons reviennent à la cathode axiale suivant une courbe symétrique de la précédente.

Mais il existe une valeur critique du champ magnétique au-dessous de laquelle la force contre-électromotrice ne peut être égale à la tension appliquée et la valve ne peut se

fermer. La valeur de ce champ critique est donnée par la formule

$$H = \frac{\sqrt{8 \frac{m}{e} V}}{R}$$

ou, en remplaçant la masse m et la charge e de l'électron par leurs valeurs numériques,

$$H = \frac{6,72}{R} \sqrt{V}.$$

où V est la tension appliquée en volts, R le rayon de l'anode extérieure en centimètres, H le champ exprimé en lignes de force par centimètre carré.

On peut combiner dans un même tube un dispositif analogue au dynatron, et consistant en une grille à éléments radiaux disposés entre les électrodes cylindriques. Si la charge positive de la grille est suffisante, les électrons émis par la cathode incandescente centrale viennent frapper la grille où ils donnent lieu à une nouvelle émission d'électrons secondaires qui seront repoussés sur l'anode extérieure. Si l'on dispose un circuit de travail entre la grille et l'anode extérieure, on pourra ainsi recueillir de l'énergie et un courant plus ou moins intense s'établira dans ce circuit, suivant la charge positive de la grille. Le champ magnétique établi parallèlement à l'axe agira toujours de la même façon en obligeant les filets électroniques à suivre un chemin incurvé entre la cathode centrale et la grille, et pourra agir comme valve, en empêchant les électrons d'atteindre la grille si son intensité atteint la limite précédemment définie.

La seule application qui ait été faite jusqu'à présent du magnétron est son utilisation comme détecteur synchrone en télégraphie sans fil à ondes continues, dans les stations transocéaniques de la Radio Corporation. Dans ce cas, le magnétron agit comme une simple valve à haute fréquence, ouverte et fermée à la fréquence approximative des signaux par un champ magnétique local, et en laissant passer d'abord les pointes positives, puis les pointes négatives du signal, avec un son perceptible.

On a expérimenté le magnétron comme amplificateur, le courant à amplifier étant utilisé pour l'établissement du champ magnétique. Le fonctionnement est à peu près le même que pour le pliotron.

On a pu également l'employer comme générateur de courants à haute fréquence, jusqu'à une puissance de 25 kw et, dans ce genre d'application, il a l'avantage d'être peu coûteux et de maintenir séparés les circuits récepteurs et générateurs.

Mais ses applications industrielles peuvent être beaucoup plus considérables.

Il peut être utilisé, entre autres, comme parafoudre et limiteur de tension. Dans ce cas, l'appareil est connecté en parallèle avec la machine à protéger et le champ magnétique est réglé de façon qu'aucun courant ne passe dans le magnétron dans les conditions normales. La valve s'ouvre dès que la tension dépasse une certaine valeur. Le délai de fonctionnement est beaucoup plus réduit que dans un éclateur à sphères.

P. C.

⁽¹⁾ A.-W. HULL, *J. A. I. E. E.*, septembre 1921, t. XL, p. 715-725, 8 000 mots, 29 fig.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Rôle de l'école pratique et des cours professionnels dans les industries électriques (Suite et fin.)

Dans la première partie de cette étude, publiée dans le numéro du 11 mars 1922, t. XI, p. 367-376, l'auteur exposait les caractères de l'enseignement qu'il convient de donner dans les écoles pratiques d'industrie pour la formation de l'ouvrier électricien. Cet enseignement devant, avant tout, être expérimental, l'école, pour atteindre pleinement son but, doit disposer d'un matériel important en machines électriques, en appareils de mesures et en objets d'appareillage électrique. C'est à l'énumération de ce matériel, ainsi qu'à l'indication des travaux pratiques auxquels il doit être utilisé que sont consacrées les pages suivantes.

VI. Matériel d'enseignement. — L'enseignement doit être expérimental. L'apprenti doit pouvoir se rendre compte de la construction, du fonctionnement, du montage, du matériel de production et d'utilisation de l'énergie électrique, par conséquent l'école pratique d'industrie qui veut former des monteurs électriciens doit utiliser trois séries d'appareils :

- 1° Des machines électriques ;
- 2° Des appareils de mesures ;
- 3° De l'appareillage électrique.

1° Machines électriques. — Les machines électriques peuvent être réparties suivant deux groupements :

a) *Les machines et appareils fixes* qui doivent fournir ou transformer l'énergie électrique et constituent la base fondamentale de toute l'installation ; ces machines ne peuvent pas être considérées comme matériel d'essais ; néanmoins, à tour de rôle, les élèves seront chargés de leur conduite sous la surveillance du contre-maître.

b) *Les machines et appareils d'essais* en nombre suffisant pour permettre à plusieurs groupes d'élèves de s'exercer simultanément. Les machines ne formeront pas des groupes fixes, mais devront pouvoir se déplacer facilement pour permettre les combinaisons les plus variées exigées par :

Les essais courants de rendement, d'échauffement, etc. ;

L'étude des principaux problèmes qui se présentent dans l'industrie ;

La recherche des erreurs de montage ;

La production des dérangements qui se produisent le plus fréquemment dans le fonctionnement des machines électriques afin que les élèves puissent arriver à les localiser pour les faire disparaître ensuite.

a) **MACHINES ET APPAREILS FIXES.** — L'école doit avoir à sa disposition le courant alternatif et le courant continu.

Le courant alternatif sera presque toujours fourni par une station centrale de la ville : l'école se contentera de créer elle-même le courant continu en ayant recours à une dynamo et à une batterie d'accumulateurs.

L'énergie électrique sera donc produite par trois sources différentes :

Pour le courant alternatif : le secteur de la ville ;

Pour le courant continu : une dynamo de l'École, une batterie d'accumulateurs.

Rien ne s'oppose à la réalisation de ce projet parce que l'École pratique doit donner un enseignement adapté au milieu : elle ne formera donc des électriciens que dans le cas où la petite et la grande industrie de la région utiliseront l'énergie électrique, ce qui ne sera possible que s'il existe une centrale électrique.

Si le courant continu peut être fourni par le secteur de la ville ou une compagnie de tramways électriques, on supprimera la dynamo, mais on conservera la batterie d'accumulateurs pour en apprendre la conduite et l'utilisation.

Poste de transformation. — Dans la plupart des cas, les secteurs électriques fournissent du courant triphasé à haute tension ; — souvent à 10 000 v — qu'il faudra transformer en courant à basse tension. On installera donc un poste de transformation qui, outre les appareils indispensables, comprendra tous les dispositifs de sécurité trop souvent négligés dans l'industrie. Tous les appareils, sauf ceux de haute tension, seront accessibles aux élèves et placés bien en évidence.

Groupe moteur-générateur réversible. — Le courant continu — ou le courant alternatif — alimentera un groupe moteur-générateur composé d'un moteur à courant continu et d'un alternateur triphasé montés en un groupe réversible.

Branché sur courant continu, le groupe débitera du courant alternatif qui pourra être envoyé dans un circuit d'utilisation ou dans le circuit du secteur de la ville par un couplage en parallèle des deux réseaux, ce qui donnera l'occasion de prévoir les appareils nécessaires à la mise en parallèle d'un alternateur et d'un réseau, tels qu'on les prévoit dans l'industrie.

Branché sur courant alternatif, et dans ce cas l'alternateur joue le rôle d'un moteur synchrone, le groupe débitera du courant continu qui pourra, ou bien être envoyé dans un circuit d'utilisation spécial, ou bien être mis en parallèle avec le réseau continu de la dynamo.

Le démarrage du groupe pourra se faire tant du côté continu que directement du côté triphasé, par réglage de tension.

Avec un pareil groupe nous avons donc la possibilité :

- 1° D'avoir un réseau à courant alternatif en utilisant le réseau à courant continu;
- 2° D'avoir un réseau à courant continu en partant du courant alternatif transformé;
- 3° D'avoir un réseau à courant continu sans utiliser le groupe;
- 4° D'avoir un réseau à courant alternatif sans utiliser le groupe;
- 5° De faire un couplage en parallèle avec le réseau continu et avec le réseau alternatif.

Enfin nous pouvons montrer aux élèves tous les appareils de mesure les plus usuellement adoptés dans la pratique : appareillage à haute et basse tension; compteurs d'énergie haute et basse tension pour courants continu et alternatif, instruments de mesure.

Machines et appareils. — En résumé l'école devra disposer de :

1° Un transformateur triphasé à bain d'huile, d'une puissance de 25 kv-A dont la tension au secondaire sera de 200 v. Le primaire portera les prises supplémentaires permettant de faire varier la tension de ± 5 pour 100. Des prises de courant pour 70 v seront prévues sur le secondaire pour le démarrage des moteurs synchrones.

a) Une machine à courant triphasé avec circuits amortisseurs et à excitation séparée pouvant développer à 1 000 t : mn, comme moteur synchrone, 12 ch et, comme génératrice, 10 kv-A sous 190-200 v et à 50 p : s;

b) Une dynamo à courant continu, accouplée avec la machine précédente à excitation shunt pouvant donner respectivement 10 kw et 12 ch sous 110-115 v;

c) Un rhéostat de champ pour l'alternateur;

d) Un rhéostat d'excitation pour la dynamo;

e) Un rhéostat pour le démarrage du côté continu.

2° Une dynamo à courant continu actionnée par courroie, d'une puissance de 12,5 kw sous 110 à 160 v, 109 à 78 A, 960 t : mn, avec rhéostat d'excitation et accessoires.

3° Une batterie d'accumulateurs composée de 62 éléments ayant une capacité de 250 A-h pendant trois heures.

Installation de ces machines et appareils. — Le transformateur et les appareils de haute tension seront montés dans une cabine séparée inaccessible aux élèves.

La batterie d'accumulateurs sera installée dans une salle spéciale et il sera prévu un petit local pour recevoir les acides, les huiles et, en général, tout le matériel d'entretien.

Le groupe convertisseur, la dynamo et les tableaux seront placés dans une salle assez grande pour contenir en plus de ces appareils plusieurs plates-formes en fonte sur lesquelles les élèves pourront monter et fixer rapidement les machines ou groupe de machines d'essais. A côté de chaque plate-forme, on placera un tableau mobile en bois sur lequel les élèves fixeront et brancheront les appareils de mesure, de contrôle et de manœuvre nécessaires à l'étude des problèmes variés qui leur seront posés.

La figure 1 donne une idée générale de la disposition qu'il serait préférable d'adopter si les conditions locales le permettaient.

La figure 2 représente le schéma de la sous-station de

transformation et le groupe réversible avec tous les appareils de manœuvre, de mesure et de contrôle nécessaires.

La figure 3 donne le schéma de la dynamo de l'école, à tension variable et de la batterie d'accumulateurs. Cet ensemble qui forme une des sources d'énergie électrique de l'école doit toujours être prêt à fonctionner. Afin de pouvoir

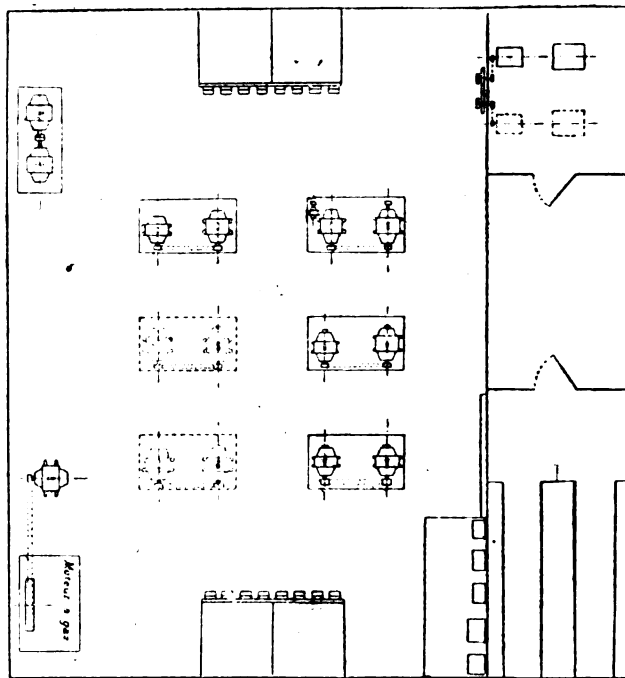


Fig. 1. — Vue en plan de l'aménagement.

mettre la batterie temporairement à la disposition des élèves pour certaines manipulations, on pourra brancher un commutateur suivant la figure 4. Bien entendu, ce commutateur ne sera accessible qu'au contremaître électrique.

La figure 5 donne une indication générale sur les tableaux fixes. Du tableau triphasé basse tension et du tableau continu partent des lignes qui traversent la salle d'essais et qui portent des prises de courant placées à côté de chaque plate-forme.

b) *MACHINES ET APPAREILS D'ESSAIS.* — L'école devrait disposer des machines suivantes :

Pour courant alternatif :

1 dynamo triphasée 10 kv-A, 1 000 t : mn, 190-110 v;

1 moteur triphasé à bagues 10 ch, 1 500 t : mn, 190 v;

1 moteur triphasé à bagues 3 ch, 1 500 t : mn, 190 v;

1 moteur triphasé en court-circuit 3 ch, 1 500 t : mn, 190 v;

1 moteur triphasé à collecteur 5 ch, 600 à 1 200 t : mn, 190 v;

1 moteur monophasé à bagues 1 500 t : mn, 190 v;

Pour courant continu :

1 dynamo 10 kw, 750 à 1 800 t : mn, 110 v;

1 dynamo 7 kw, 1 500 t : mn, 110 v avec diviseur de tension;

1 dynamo Léonard 7 kw, 1 500 t : mn, 0 à 110 v;

1 dynamo sulvoltrice-dévoltrice 5 kw, 1 500 t : mn, 55 v;

- 1 moteur 8 ch, 0 à 1500 t : mn, 110 v ;
 1 moteur-série 3 ch, 1200 t : mp, 110 v.

Elle doit disposer en outre de :

- 3 transformateurs monophasés 3 kv-A. 200 2×250 v ;
 2 transformateurs triphasés 3 kv-A. 10 000 200 v.

Les puissances indiquées pour quelques machines pourront parfois paraître trop fortes ou trop faibles, ce

qui s'explique aisément par le fait que la même machine doit être employée dans différentes combinaisons, admettant dans certains cas une surcharge ou, dans d'autres cas, réglant sa charge suivant la puissance de l'appareil avec lequel elle est temporairement accouplée.

Les caractéristiques indiquées : puissance, vitesse, etc... ne doivent servir qu'à titre d'indication

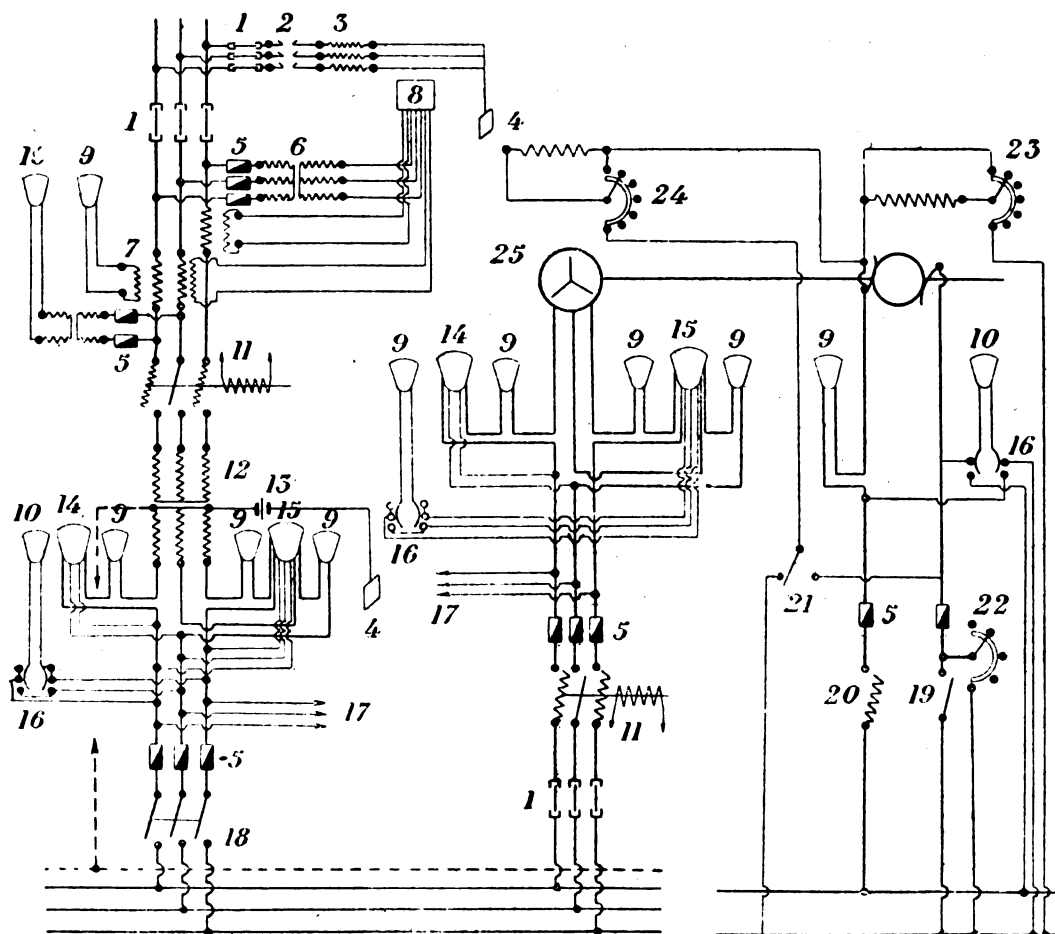


Fig. 2. — Sous-station de transformation et groupe moteur-générateur réversible.

- 1, Sectionneur; 2, Para surtension; 3, Résistance; 4, Plaque de terre; 5, Coupe-circuit; 6, Transformateur de tension; 7, Transformateur d'intensité; 8, Compteur; 9, Ampèremètre; 10, Voltmètre; 11, Interrupteur à maxima et minima; 12, Transformateur statique; 13, Bouchon de claquage; 14, Phasemètre; 15, Wattmètre; 16, Commutateur de voltmètre; 17, Synchroniseur; 18, Interrupteur tripolaire; 19, Interrupteur unipolaire; 20, Interrupteur à maxima; 21, Commutateur unipolaire; 22, Démarreur; 23, Rhéostat d'excitation; 24, Rhéostat de champ; 25, Démarreur pour réglage de vitesse.

générale, car les données définitives dépendront des modèles normaux qui se trouveront chez les constructeurs.

Pour la commodité des montages, toutes les commandes des moteurs se feront par courroie.

En détaillant les caractéristiques de chaque machine, nous indiquerons les principales combinaisons qui peuvent être réalisées ainsi que certains exercices qui doivent faire comprendre aux élèves les propriétés du courant électrique susceptibles d'applications industrielles.

Ce sont :

- 1° Un groupe moteur-générateur réversible composé de :

a) Une machine à courant triphasé avec circuits amortisseurs pouvant développer à 1000 t : mn comme moteur synchrone 12 ch et, comme génératrice, 10 kv-A sous 190 v entre phases et 110 v entre phases et neutre, 30 p : s.

b) Une machine à courant continu à excitation shunt pouvant donner respectivement 10 kw et 12 ch sous 110 v et vitesse réglable entre 750 et 1800 t : mn.

La machine à courant triphasé sera pourvue d'un deuxième bout d'arbre libre permettant de faire le démarrage par

moteur de lancement de type asynchrone. Le moteur de lancement sera à bagues et muni d'un démarreur de réglage. Grâce à ce dispositif, les élèves pourront étudier tous les moyens de démarrage d'un moteur synchrone :

Soit par moteur de lancement ;

Soit par variation de tension directement du côté triphasé ;

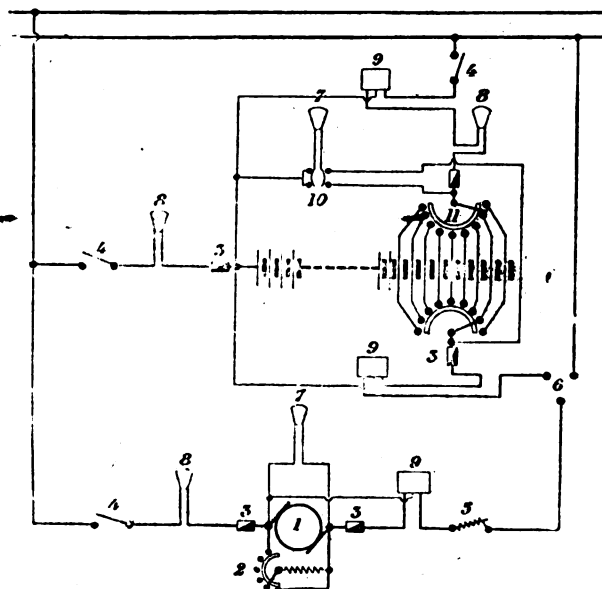


Fig. 3. — Charge d'une batterie de 60 éléments par une dynamo à tension variable entre 110 et 160 volts.

1, Dynamo ; 2, Rhéostat d'excitation ; 3, Coupe-circuit ; 4, Interrupteur unipolaire ; 5, Interrupteur à minimum ; 6, Commutateur unipolaire ; 7, Voltmètre ; 8, Ampèremètre ; 9, Compteur ; 10, Commutateur de voltmètre ; 11, Réducteur double.

Soit en faisant marcher la dynamo à courant continu comme moteur pendant la période de démarrage.

La machine à courant triphasé pourra fonctionner comme génératrice ou comme moteur synchrone.

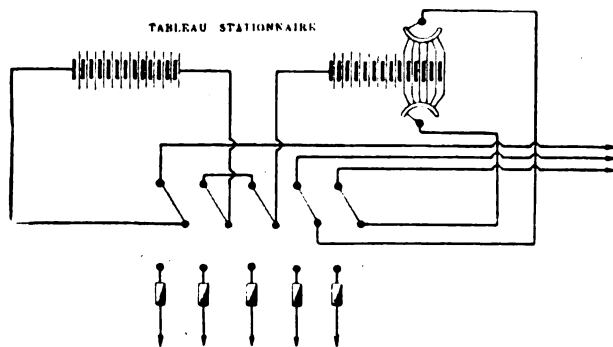


Fig. 4. — Salle d'essais.

La machine fonctionnant comme génératrice, les élèves seront exercés à en faire le couplage soit avec le réseau, soit avec le groupe moteur-générateur principal.

Afin de bien comprendre le jeu de deux alternateurs mis en parallèle, en dehors du voltmètre de synchronisation, on emploiera un indicateur de vitesse composé de trois lampes

branchées entre les mêmes phases correspondantes des deux alternateurs. En faisant tourner l'alternateur à 1 200 t : mn, c'est-à-dire à 40 p : s, les trois lampes s'allumeront et s'éteindront successivement suivant un mouvement de rotation de gauche à droite, par exemple, tandis que, si l'alternateur marche à 1 800 t : mn, soit à 60 p : s, la suite des extinctions et des allumages successifs se fera en sens inverse. En réglant l'alternateur à 50 p : s, l'extinction simultanée des trois lampes indiquera qu'on peut coupler les deux réseaux. C'est ainsi que les élèves se rendront compte que même à tension égale le couplage ne peut pas se faire si la fréquence

| TABLEAU A | | | |
|--------------|-----------|-----------|---------|
| Dynamo C. C. | Batterie. | Batterie. | Départ. |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| TABLEAU B | | | |
|--------------|---------|---------------|---------|
| Dynamo C. C. | Altern. | Transf. R. T. | Départ. |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

TABLEAU C
Transf. H. T.

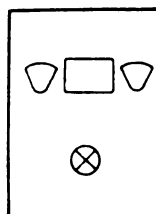


Fig. 5. — Tableaux de distribution.

des deux réseaux n'est pas identique. Pendant la marche en parallèle des deux alternateurs, on apprendra aux élèves la façon de répartir la charge et on leur fera constater le danger très grave qui résulterait du fait de réduire ou couper l'excitation d'une des deux machines.

En faisant varier la vitesse de l'alternateur dans des limites plus étendues par l'intermédiaire du rhéostat de réglage du moteur continu on pourra faire osciller la fréquence entre 25 et 60 p : s et montrer aux élèves l'influence de cette fréquence sur les différents récepteurs (moteurs, lampes à incandescence, lampes à arc, etc...).

L'alternateur fonctionnant comme moteur synchrone entrainera la dynamo à courant continu qui débitera du courant soit sur le réseau de l'école, soit sur une résistance locale.

Les élèves étudieront la stabilité de marche du moteur synchrone ainsi que le décalage correspondant aux diverses valeurs du courant d'excitation.

Afin de montrer aux élèves la valeur pratique de cette propriété, on mettra sur l'alternateur du groupe principal

une charge inductive pouvant déterminer un certain déphasage ou un certain facteur de puissance ($\cos \varphi$) ; on branchera ensuite le moteur synchrone sur le même alternateur et on en réglera l'excitation de façon à faire varier le cosinus de l'installation principale tout en laissant à l'alternateur sa charge primitive.

2° Un groupe moteur-générateur réversible composé de :

a) Un moteur asynchrone triphasé avec induit à bagues et dispositif de mise en court-circuit et de relevage des balais, pour une puissance de 10 ch à 1 500 t : mn, 50 p : s et 190 v (les bagues et le système de balais doivent être prévus de façon à pouvoir soumettre le moteur à une marche continue sans relever les balais.)

b) Une machine à courant continu avec excitation shunt pouvant débiter comme dynamo 7 kw à 1 500 t : mn sous 110 v.

La machine est pourvue de bagues supplémentaires pour le branchement éventuel d'un diviseur de tension. Elle développera 10 ch comme moteur et dans ce cas l'excitation shunt pourra faire varier la vitesse de ± 10 pour 100.

Le moteur asynchrone à bagues est pourvu d'un rhéostat de démarrage. Entre les bagues et le rhéostat, on branchera un ampèremètre et un voltmètre afin de pouvoir montrer aux élèves la valeur de la tension et du courant dans l'induit aux différentes vitesses et charges ; les élèves observeront la valeur très grande que prennent la tension et le courant au moment du démarrage et reconnaîtront la nécessité d'un rhéostat de démarrage. On pourra également brancher, entre les phases du rotor, trois lampes de tension appropriées ; leur intensité lumineuse sera maximum lorsque le moteur sera au repos et diminuera au fur et à mesure que sa vitesse augmentera et la théorie du moteur asynchrone considéré comme transformateur sera ainsi facilement comprise par les apprentis.

Sur le deuxième bout d'arbre libre dont le moteur asyn-

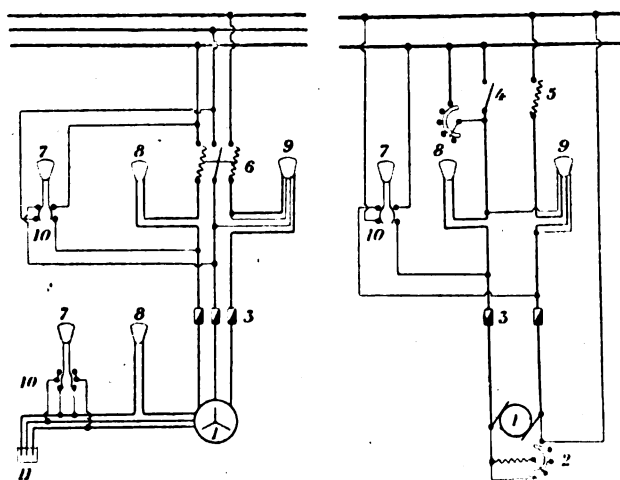


Fig. 6. — Groupe convertisseur, réversible, composé d'un moteur asynchrone à bagues et d'une dynamo shunt 110 volts.

1, Dynamo et moteur ; 2, Rhéostat d'excitation ; 3, Coupe-circuit ; 4, Interrupteur unipolaire ; 5, Disjoncteur à maximum unipolaire ; 6, Disjoncteur à maximum tripolaire ; 7, Voltmètre ; 8, Ampèremètre ; 9, Wattmètre ; 10, Commutateur de voltmètre ; 11, Démarreur.

chrone sera pourvu, on pourra monter une petite dynamo tachymètre qui permettra de se rendre compte du glissement du moteur ainsi que du fonctionnement d'un moteur asynchrone à vitesse réglable par résistance.

A condition d'avoir la double sécurité que présentent un interrupteur à maximum et des coupe-circuits bien calibrés, on pourra démarrer le moteur en court-circuit et faire comprendre aux élèves le danger qui résulte de l'oubli de la remise des balais à la position de démarrage.

En faisant tourner le groupe à une vitesse supérieure au synchronisme, on pourra faire marcher le moteur asynchrone comme génératrice et lui faire débiter du courant sur le réseau triphasé, celui-ci étant bien entendu déjà sous courant. Dans ce but la machine à courant continu sera pourvue d'un rhéostat pour obtenir une augmentation de vitesse de 10 pour 100. Pour rendre le fonctionnement plus évident, on branchera sur le moteur asynchrone un wattmètre à deux directions.

Le schéma général de ce groupe est représenté par la figure 6. Il est entendu que, suivant les exercices donnés aux

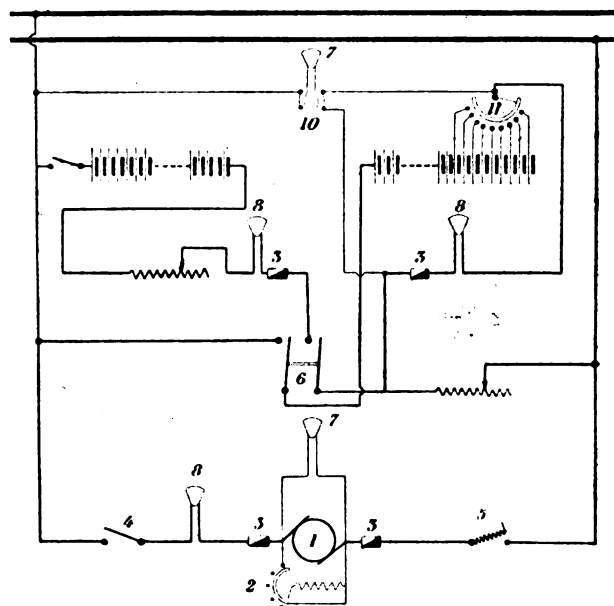


Fig. 7. — Charge d'une batterie de 60 éléments, en deux parties, par une dynamo à tension constante.

1, Dynamo ; 2, Rhéostat d'excitation ; 3, Coupe-circuit ; 4, Interrupteur unipolaire ; 5, Disjoncteur à maximum unipolaire ; 6, Disjoncteur à maximum tripolaire ; 7, Voltmètre ; 8, Ampèremètre ; 9, Wattmètre ; 10, Commutateur de voltmètre ; 11, Réducteur simple.

élèves, d'autres appareils de mesure pourront être ajoutés à ceux indiqués sur ce schéma.

En fonctionnant comme dynamo, la machine à courant continu pourra marcher, seule, sur une résistance locale ou de préférence en parallèle avec le réseau.

Elle pourra charger la batterie d'accumulateurs, soit seule (charge à tension courante, en deux groupes) ; suivant la figure 7, soit avec l'adjonction d'une dynamo survoltée suivant la figure 8.

Elle pourra en outre marcher en parallèle ou en série avec la dynamo du premier groupe ; dans le premier cas, on examinera la répartition de la charge suivant les différences de vitesse ou les variations du courant d'excitation ; dans le deuxième cas on établira une distribution à trois fils, on branchera des lampes à incandescence de tension convenable et on observera comment varie l'intensité dans le fil neutre suivant l'inégalité de charge des deux ponts.

En utilisant le diviseur de tension, la dynamo servira à elle seule pour l'étude du système à trois fils.

3° Un groupe de machines pour le réglage de vitesse dans des limites très étendues par le système Ward Léonard et composé de :

a) Un moteur asynchrone triphasé avec induit à bagues d'une puissance de 10 ch à 1 500 t : mn, 50 p : s et 190 v.

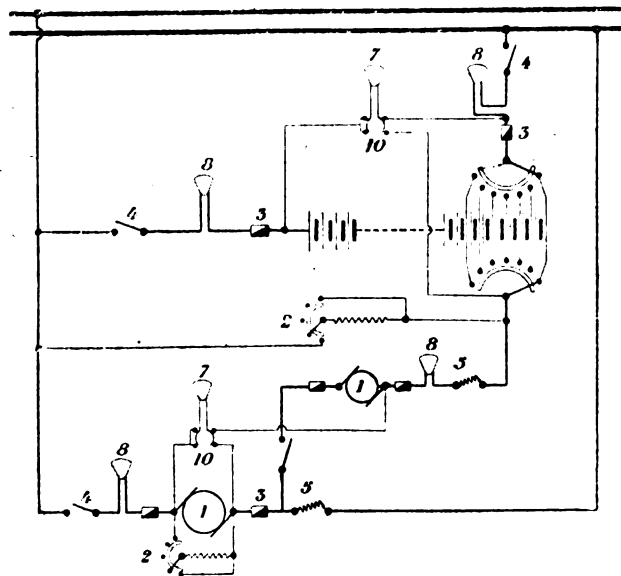


Fig. 8. — Charge d'une batterie de 60 éléments par une dynamo à tension constante et un survolteur.

1, Dynamo et survolteur; 2, Rhéostat d'excitation; 3, Coupe-circuit; 4, Interrupteur unipolaire; 5, Interrupteur à minimum; 7, Voltmètre; 8, Ampèremètre; 10, Commutateur de voltmètre; 11, Réducteur double.

b) Une dynamo Léonard avec compoundage et pôles auxiliaires d'une puissance de 7 kw, 0 à 110 v, 1 500 t : mn.

c) Un moteur à courant continu avec pôles auxiliaires d'une puissance de 8 ch à vitesse réglable par tension jusqu'à 1 500 t : mn.

d) Une dynamo à courant continu avec excitation shunt d'une puissance de 7 kw à 1 500 t : mn et 110 v.

Ce système de réglage est basé sur le principe que les changements de vitesse d'un moteur se font dans les mêmes limites que les variations de sa tension d'alimentation. Le schéma général est représenté par la figure 9.

Un moteur triphasé actionne par courroie la dynamo Léonard, tandis que le moteur à vitesse variable actionne une dynamo qui en forme la charge. La dynamo Léonard ainsi que le moteur à vitesse réglable sont excités par une tension constante (par exemple par la batterie d'accumulateurs).

En réglant l'excitation au moyen d'un rhéostat à réglage très fin, on fait varier la tension de la dynamo de zéro à une valeur maximum et dans le même rapport on fait varier, par conséquent, la vitesse du moteur.

Sur le deuxième bout d'arbre libre du moteur à vitesse variable, on peut monter une petite dynamo tachymètre qui alimentera un voltmètre enregistreur étalonné en tours par minute. En dehors des appareils indiqués au schéma on pourra brancher tout autre appareil utile à la compréhension du fonctionnement de ce système.

4° Un groupe de machines pour le réglage de vitesse dans

des limites très étendues par le système dévolteur-survolteur.

Pour cet exercice il faut disposer de :

a) Un moteur asynchrone triphasé avec induit à bagues d'une puissance de 10 ch à 1 500 t : mn, 50 p : s et 190 v.

b) Une dynamo survoltrice-dévoltrice avec compoundage auxiliaire et pôles auxiliaires pour une puissance de 5 kw, ± 55 v, 90 A, 1 500 t : mn.

c) Un moteur à courant continu avec pôles auxiliaires pour une puissance de 8 ch, à vitesse réglable par tension jusqu'à 1 500 t : mn.

d) Une dynamo à courant continu avec excitation shunt pour une puissance de 7 kw à 1 500 t : mn et 110 v.

Le moteur triphasé actionne par courroie la dynamo sur-

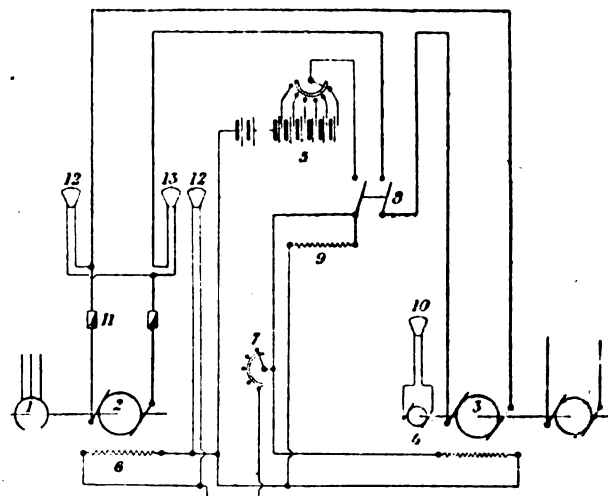


Fig. 9. — Réglage de vitesse d'un moteur continu par tension, système Léonard Ward.

1, Moteur triphasé; 2, Dynamo Léonard; 3, Moteur continu; 4, Dynamo tachymètre; 5, Batterie d'accumulateurs; 6, Inducteur de la dynamo Léonard; 7, Rhéostat de réglage; 8, Interrupteur bipolaire avec contact auxiliaire; 9, Résistance de court-circuitage pour le champ du moteur; 10, Tachymètre; 11, Coupe-circuit; 12, Voltmètre; 13, Ampèremètre.

voltrice, tandis que le moteur à vitesse variable commande, comme dans le cas précédent, une dynamo qui en forme la charge. Le schéma général est représenté par la figure 10.

La dynamo survoltrice est branchée en opposition avec une tension constante de 55 v (dans notre cas la moitié de la batterie). La dynamo est excitée à 55 v de façon qu'à ce moment la différence des deux tensions est égale à zéro : au fur et à mesure qu'on diminue la tension de la dynamo, par l'intermédiaire d'un rhéostat d'excitation, cette différence augmente et sa valeur atteindra 55 v lorsque la tension de la dynamo survoltrice sera réduite à zéro. Si, à ce moment, on renverse et on renforce progressivement l'excitation de la dynamo survoltrice, sa polarité change et sa tension augmente de 0 à 55 v. Cette tension s'ajoute à celle de la batterie de sorte que progressivement nous obtenons une tension utile allant de 55 à 110 v.

La tension d'alimentation du moteur à vitesse variable peut donc être réglée pendant ces deux périodes entre 0 et 110 v, par conséquent la vitesse du moteur peut varier pratiquement entre zéro et sa valeur maximum. L'emploi de la dynamo tachymètre et d'autres appareils de mesure, en dehors de ceux essentiels indiqués au schéma, permettra de

comprendre et d'analyser parfaitement ce système de réglage qui, comme le précédent, trouve son application dans différentes branches de l'industrie.

5° Un moteur triphasé en court-circuit pour une puissance de 3 ch à 190 v, 50 p : s, 1 500 t : mn.

On étudiera les différents moyens de démarrage d'un moteur en court-circuit employés dans l'industrie (certains de ces procédés ne servent dans la pratique que pour des moteurs de puissance plus élevée; ils pourront néanmoins

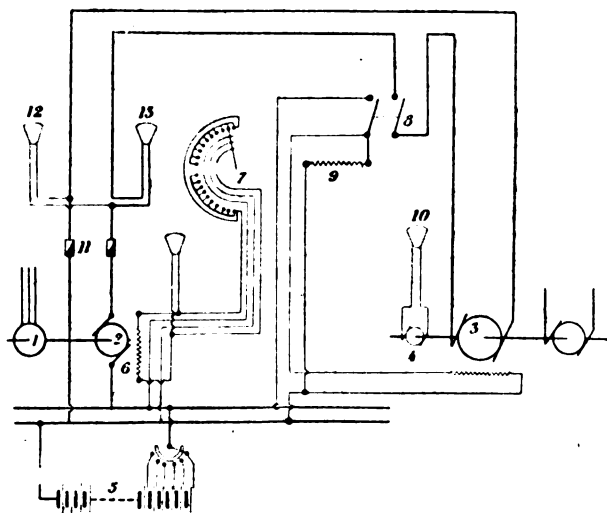


Fig. 10. — Réglage de vitesse d'un moteur continu par tension, système dévolteur-survolteur.

1, Moteur triphasé; 2, Dynamo dévoltrice-survoltrice; 3, Moteur continu; 4, Dynamo tachymètre; 5, Batterie d'accumulateurs; 6, Inducteur de la dynamo survoltrice-dévoltrice; 7, Rhéostat de réglage; 8, Interrupteur bipolaire avec contact auxiliaire; 9, Résistance de court-circuitage pour le champ du moteur; 10, Tachymètre; 11, Coupe-circuit; 12, Voltmètre; 13, Ampèremètre.

être appliqués, à titre d'essai, à un moteur de 3 ch seulement) :

- a) démarrage par simple interrupteur.
- b) id interrupteur étoile-triangle.
- c) id résistance réglable sur le rotor,
- d) id auto-transformateur.

Dans chacun de ces cas, il faudra déterminer le couple ou le démarrage qui joue un rôle important dans beaucoup d'applications du moteur en court-circuit. En dehors du rapport entre la tension et le couple, on pourra déterminer également, par une série d'essais, l'influence de l'entrefer sur le couple de démarrage et donner aux élèves les moyens de modifier facilement ce couple sur un moteur en usage.

6° Un moteur triphasé à collecteur pour une puissance de 5 ch à 190 v, 50 p : s et une vitesse réglable entre 600 et 1 200 t : mn par décalage des balais.

Ce moteur trouve son application spécialement dans l'industrie textile pour la commande de métiers à filer, à retordre, etc...

Il est utile d'étudier ses propriétés, d'en déterminer, par exemple, le rendement, le facteur de puissance et le couple aux différentes vitesses et charges, l'influence des variations de tension sur la vitesse, etc...

7° Un moteur monophasé à induction avec induit à bagues pour une puissance de 3 ch à 190 v, 50 p : s, 1 500 t : mn. Le démarrage pourra être combiné à volonté avec une bobine

de self-induction ou avec un condensateur. Bien que l'emploi du moteur monophasé soit restreint, il est utile d'étudier son fonctionnement pour mieux comprendre le jeu du champ tournant.

8° Un moteur à courant continu avec excitation en série pour une puissance de 3 ch sous 110 v et 1 200 t : mn avec deuxième bout d'arbre libre.

Le moteur en série est très répandu, spécialement pour la commande d'appareils de levage (grue, ponts roulants, monorails), et d'appareils auxiliaires de trains de laminaires (rouleaux, tabliers, cylindres) etc... et mérite toute notre attention.

On fera des essais de couple, rendement, échauffement, aux différentes vitesses et charges. La charge ne doit pas bien entendu descendre au-dessous de la valeur correspondant à la vitesse maximum à laquelle le moteur peut résister. Si les crédits de l'école le permettaient, il serait intéressant de faire l'acquisition d'un petit pont roulant à deux moteurs qui servirait en même temps à la manutention dans la salle d'essais. Les élèves pourraient ainsi se rendre compte du fonctionnement des moteurs et appareils pour engins de levage. Faute du pont, la charge serait donnée par une dynamo. Comme double sécurité contre un emballement possible, on pourrait monter sur le deuxième bout d'arbre libre un petit interrupteur à force centrifuge.

9° Afin de faire connaître aux élèves les types les plus courants de *controller* employés dans l'industrie pour les différents services intermittents on fera l'acquisition de :

- 1° Un *controller* réversible sans freinage avec plots auxiliaires pour branchement d'un électro de frein.
- 2° Un *controller* réversible avec freinage par résistance.
- 3° Un électro de frein.

10° *Transformateurs*. — L'école doit disposer de quelques transformateurs d'essais. Si l'on considère que les transformateurs trouvent généralement leur emploi sur les réseaux à haute et à très haute tension qui tendent à se répandre de plus en plus dans notre région et que, d'autre part, nos futurs monteurs électriciens doivent pouvoir travailler à ce genre d'installation avec plus de compétence qu'un monteur quelconque, l'école ne doit pas hésiter à mettre à la disposition des élèves des transformateurs et appareils nécessaires pour les familiariser avec la haute tension. On prendra bien entendu les précautions les plus sévères contre les accidents possibles, c'est ainsi que les transformateurs et appareils à haute tension seront montés dans une cabine en fer grillagé.

On pourra, en outre, pourvoir le portillon d'entrée de cette cabine d'un verrouillage destiné à court-circuiter la bobine à minimum de l'interrupteur monté sur l'arrivée du courant à haute tension, lequel à son tour serait relié avec 4 lampes témoins (2 à 2 en parallèle) correspondant aux positions « arrêt » et « marche ».

Les transformateurs doivent être choisis de façon à pouvoir permettre aux élèves de faire des combinaisons et de exercices variés et d'en comprendre par conséquent le fonctionnement à fond.

Il serait utile de prévoir :

a) Trois transformateurs monophasés avec refroidissement naturel chacun pour une puissance de 3 ch à 50 p : s pour une tension primaire de 200 v et une tension secondaire de 2×250 v.

Le côté primaire de chaque transformateur sera pourvu de deux prises dont l'une pour 86,6 pour 100 de la tension primaire, soit 173 v et l'autre pour 50 pour 100, soit 100 v. Les bobines du côté secondaire seront prévues de façon à pouvoir donner à puissance constante 250 ou 500 v, suivant qu'elles seront branchées en parallèle ou en série.

Les trois transformateurs peuvent, étant branchés en triangle sous 190 v, former un système triphasé.

Séparément, ils peuvent marcher en parallèle à deux ou à trois. Deux quelconques de ces transformateurs branchés suivant le système Scott peuvent permettre de transformer le courant triphasé en courant diphasé. C'est à cet effet que nous avons prévu des prises à 86,6 pour 100 et 50 pour 100 de la tension primaire.

La tension de 500 v donnera aux élèves la possibilité de connaître et étudier l'appareillage créé pour cette tension. Les nombreux accidents arrivés dans notre région, où la tension de 500 v est très répandue, démontrent que le danger qu'elle présente n'est pas assez apprécié et que l'appareillage pour 500 v n'est pas employé judicieusement.

b) Deux transformateurs triphasés à bain d'huile, d'une puissance de 3 kv-à 50 p:s, une tension primaire de 10 000 v et une tension secondaire de 200 v.

Les deux transformateurs répondront aux conditions nécessaires pour pouvoir marcher en parallèle (même rapport de transformation à vide, même tension de court-circuit et même couplage); ils seront cependant prévus l'un avec tôles spéciales pour pertes à vide réduites et avec pertes à vide normales et avec pertes réduites dans le cuivre; cela dans le but de permettre aux élèves de se rendre compte exactement de la valeur réelle du rendement d'un transformateur et de la répartition des pertes.

Entre autres exercices, on pourra mettre les transformateurs dans l'impossibilité de marcher en parallèle et on laissera aux élèves le soin d'en rechercher les causes pour arriver à les supprimer.

On montrera aux apprentis la façon d'entretenir les transformateurs, de procéder à leur séchage, ainsi que les moyens pratiques pour examiner l'huile au point de vue de son degré d'humidité et de procéder à son séchage. Les élèves devront apprendre à connaître et à se servir des dispositifs de sécurité destinés à protéger le côté basse tension contre la haute tension (bouchons de claquage, etc...)

Les élèves pourront travailler par groupes de quatre et disposeront de quatre heures pour la préparation et la solution du problème posé par le professeur.

Malgré le caractère provisoire du montage fait par les apprentis sur les tableaux des plates-formes, on insistera pour que ce travail soit fait convenablement et avec goût. Les élèves seront tenus de présenter à chaque séance le résumé écrit de l'exercice précédent, avec schéma, diagrammes et conclusions. Ces travaux serviront comme base pour leur classement à la fin de l'année scolaire.

2° Appareils de mesure. — Dans toute distribution électrique, les appareils de mesure occupent une place importante; c'est grâce à leur emploi que nous pouvons suivre le fonctionnement d'une installation, en constater les troubles et en déterminer les défauts.

Les élèves doivent, par conséquent, utiliser non seulement des appareils nécessaires pour étudier les principaux phénomènes électriques et les propriétés des machines, mais disposer d'appareils de démonstration leur permettant de comprendre le principe et le fonctionnement des principaux appareils de mesure employés dans l'industrie. L'école sera donc pourvue d'une série d'appareils de démonstration, démontables et visibles dans toutes leurs parties, soit :

1 galvanomètre pouvant servir comme magnétomètre, ou comme galvanomètre simple, différentiel ou astatique.

1 appareil apériodique, système Déprez-d'Arsonval, pouvant servir comme galvanomètre, ampèremètre et voltmètre.

1 voltmètre et un ampèremètre électromagnétiques amortis.

1 voltmètre et un ampèremètre thermiques.

1 voltmètre électrostatique.

1 voltmètre électrodynamique pour courants continu et alternatif.

L'école disposera, en outre, d'un nombre suffisant d'appareils transportables, ainsi que d'un certain nombre d'appareils de tableaux du type industriel.

Nous donnons la liste des types principaux qui pourra être augmentée par la suite, bien entendu si les crédits de l'école le permettent :

1 boîte de contrôle pour courant continu et alternatif comprenant un ampèremètre thermique avec échelle jusqu'à 5 A et shunts pour 30, 60, 100 A et un voltmètre thermique avec trois échelles pour 125, 250 et 600 v.

1 boîte de contrôle pour courant continu comprenant un ampèremètre apériodique, système Déprez-d'Arsonval, avec échelles pour 5, 30 et 150 A et un voltmètre du même système avec échelles pour 150 et 300 v.

1 milliampèremètre thermique transportable avec échelles pour 0,5, 1, 2 A avec divisions de 0,005, 0,01, 0,02 A.

1 wattmètre de précision électrodynamique transportable pour courant alternatif pour des intensités de 5, 20, 50 et 100 A et des tensions de 125, 250 et 600.

1 wattmètre apériodique, système Déprez-d'Arsonval, transportable pour courant continu pour des intensités de 5, 30 et 150 A et des tensions de 150 et 300 v.

1 galvanomètre balistique.

1 galvanoscope à magnéto.

1 galvanoscope à batterie.

Pour les tableaux, il faudra disposer de :

1 série d'appareils enregistreurs comportant ampèremètre, voltmètre et wattmètre pour courant continu.

Ampèremètre, voltmètre et wattmètre pour courant alternatif.

4 compteurs pour courant continu.

1 compteur pour courant alternatif.

2 compteurs pour courant triphasé.

2 phasemètres.

1 fréquencesmètre.

2 wattmètres pour courant continu avec zéro au milieu.

2 wattmètres pour courant alternatif avec zéro au milieu.

4 voltmètres, système Déprez-d'Arsonval.

6 ampèremètres, système Déprez-d'Arsonval.

4 voltmètres thermiques.

6 ampèremètres thermiques.

1 voltmètre de synchronisation.

1 voltmètre électrostatique.

1 ohmmètre.

1 indicateur de vitesse à champ tournant.

On possédera en outre :

1 tachymètre composé d'une dynamo à excitation constante et un voltmètre de précision étalonné en tours par minute, avec zéro au milieu.

2 compte-tours.

1 frein système Prony.

1 photomètre devant servir aussi comme luxmètre.

1 appareil à téléphone pour contrôle des terres.

1 pont de Wheatstone.

Nous avons donné, à titre d'indication générale, une spécification sommaire avec nombre et genre d'appa-

reils qui nous semblent utiles et nécessaires; bien entendu, cette nomenclature pourra être modifiée après examen au moment de faire l'acquisition.

3° Appareillage électrique. — L'école ne doit pas disposer seulement de l'appareillage nécessaire pour les exercices de laboratoire, mais aussi d'appareils de démonstration. Il est indispensable de faire acquérir aux élèves des données sérieuses qui leur permettront de se rendre compte de la valeur électrique des différents types et systèmes d'appareils.

Dans plusieurs pays, la construction des appareils électriques est soumise à des prescriptions sévères qui ont pour but d'assurer la sécurité des personnes et des immeubles.

Malheureusement ces prescriptions sont presque toujours ignorées chez nous et aucune réglementation n'est appliquée sérieusement, de sorte que beaucoup d'accidents survenus dans notre région sont imputables à l'emploi d'un appareillage mal conçu et non approprié.

Il n'est pas rare de rencontrer dans certaines installations des appareils qui n'offrent pas une garantie suffisante; par exemple des tableaux en bois, des coupe-circuits pouvant déterminer des explosions ou la formation d'un arc, des prises de courant dont les alvéoles peuvent être touchées des doigts, des douilles avec clefs en métal, etc...

Le monteur sortant d'une bonne école doit savoir distinguer un bon interrupteur d'un mauvais, reconnaître que telle douille ou tel isolateur peut ou ne peut pas convenir dans tel cas donné, que tel appareil permet un montage plus simple ou répond mieux aux conditions locales que tel autre, etc... Avec ces connaissances les monteurs pourront contribuer efficacement à faire entrer dans l'usage courant un appareillage plus perfectionné, donnant toute garantie contre les accidents de personnes, incendies, etc...

L'école disposera donc d'un appareillage riche et très varié comprenant les principales marques et types et dans lequel les groupes suivants seront représentés :

I. L'appareillage servant à la pose et à la dérivation des lignes électriques (poules, isolateurs, serre-fils, pipes, entrées, peschel, rosaces, bornes, cosses, tubes, boîtes de dérivation, manchons, raccords à T et d'angles, etc...)

II. L'appareillage destiné à recevoir les lampes électriques (douilles, griffes, raccords, armatures, etc...)

III. L'appareillage destiné à la protection des circuits (automats, relais, coupe-circuits, etc...)

IV. L'appareillage destiné à établir ou couper les circuits (interrupteurs, commutateurs, etc...)

Il sera attaché beaucoup d'importance à l'exécution des tableaux de distribution. La conception et l'exécution d'un tableau doivent concilier l'esthétique avec la sécurité. Celle-ci ne peut être garantie que par une disposition rationnelle permettant un contrôle facile et par une exécution robuste pouvant résister à de nom-

breuses manœuvres. La partie postérieure des tableaux (barres collectrices, connexions) doit être l'objet de soins tout particuliers. Les élèves doivent s'habituer à employer l'appareillage et l'outillage destinés à ce genre de travail. L'école disposera de plusieurs petits tableaux pouvant servir comme modèles. D'ailleurs les tableaux fixes de l'école, dont la partie postérieure sera facilement accessible, seront exécutés d'une façon particulièrement soignée et serviront ainsi de modèles aux élèves.

TRAVAUX MANUELS DU FER, DU CUIVRE ET DU BOIS. — Les perceuses, les tours, les raboteuses, les fraiseuses, les scies à ruban, les forges, les machines à affûter, etc.... dont on peut avoir besoin se trouvent dans les ateliers d'ajustage, de forge et de menuiserie de l'Ecole pratique; il n'est donc pas nécessaire de les faire figurer dans l'atelier des montages électriques. On se contentera d'y placer :

- | | |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1 perceuse sensitive de 0 à 10 mm, | 1 poinçon, |
| 1 tour à chariot et fileter de précision, | 1 drap d'essuyage, |
| 1 tour à bobiner, | 2 pinces plates longueur 140 et 180 mm, |
| 1 meule émeri, | 2 pinces rondes longueur 140 et 180 mm, |
| 1 banc de menuiserie avec son outillage, | 2 pinces coupantes longueur 140 et 200 mm, |
| 1 marbre de 2 m x 1,50 m, | 2 tournevis. |
| 1 établi d'ajusteur avec 10 étaux; | 6 vrilles parisiennes diam. 3, 4 et 5 mm, |
| puis : | 1 marteau rivoir, |
| 1° Un outillage d'établi comprenant : | 1 plomb d'architecte. |
| 2 marbres 60 cm x 40 cm, | 4° Deux tableaux d'outillage (spécial) pour monteurs, composés chacun de : |
| 2 trusquins, | 2 pinces à gaz longueur 170 et 260 mm, |
| 2 paires de V. | 1 pince coupante extra-renforcée, |
| 2° Un tableau d'outillage composé de : | 1 tournevis avec manche garni de gutta, |
| 2 tournevis, | 1 ciseau à bois, |
| 1 étau à chanfrein, | 1 gouge à bois, |
| 1 scie à métaux, | 1 niveau à bulle d'air, |
| 2 rivoirs, | 1 vilebrequin américain à cliquet, |
| 2 tas à river, | 1 drille à volant d'entraînement, mèches assorties, |
| 1 burette, | 1 scie à guichet, dents doubles avec lames de réserve, |
| 1 jeu de tourne-à-gauche, | 1 scie à araser, |
| 1 jeu de clefs à écrous, | 1 scie à métaux, |
| 2 clefs à molette, | 1 rivoir pour mécanicien, |
| 1 équerre à chapeau, | 1 fer à souder, |
| 1 équerre à 120°. | 1 lampe à souder, |
| 3° Les outillages individuels au nombre de 10, composés chacun de : | 1 équarrisseur, |
| 1 étau à pied de 50 kg, | 2 pointes carrées, |
| 1 marteau, | 1 étau à main, |
| 1 compas à pointe, | 1 décimètre, |
| 1 compas d'épaisseur, | 1 brosse, |
| 1 équerre à 90°, | 1 couteau de monteur, |
| 1 brosse à lime, | 1 rape plate, |
| 8 limes dont : | 1 rape demi-ronde, |
| 1 d'Allemagne de 1 au pa- | 1 maillet de plomb, |
| quet, | 1 maillet de bois, |
| 1 plate bâtarde, | 2 mâchoires à tendre, |
| 1 id demi-douce, | 1 jeu de moufle avec corde, |
| 1 douce, | 3 tarières à douille diamètres 11, 13 et 16 mm, |
| 1 demi-ronde bâtarde, | 2 tamponnoirs diamètres 15 et 25 mm, |
| 1 id douce ou demi-douce, | 1 paire cisailles spéciales pour fils de 10 mm, |
| 1 carrée, | 1 ceinture avec poche, |
| 1 ronde, | 1 paire d'étriers pour grimper, |
| 1 paire mordaches en cuivre, | |
| 1 id id en plomb, | |
| 1 burin, | |
| 1 bedane, | |
| 1 pointeau, | |
| 1 pointe à tracer, | |

1 compte-tour,
1 bidon,
1 tapis et 1 paire de gants
caoutchouc.

TRAVAUX DE MAÇONNERIE, DE
PLAFONNAGE ET DE PEINTURE.
— Le matériel sera :

1 auge de 80 cm × 60 cm.
1 gâchoir,
4 truelles assorties,
1 règle,
1 équerre,
1 niveau,
1 fil à plomb,
1 seau,

1 pelle, cordes et broches,
6 brosse, 2 brosse à badi-
geonner,
1 brosse à étendre le papier,
1 couteau à mastiquer,
1 marteau,
4 bidons.

TRAVAUX DE PLOMBERIE, ZIN-
GUERIE ET TUYAUTERIE. — Le
matériel sera :

1 table à souder,
1 barreau d'établi,
5 tasseaux divers,
10 outils gorges, tranches, bor-
doirs, suages,

3 bigornes,
3 fers à souder,
1 réchaud,
1 soufflet,
1 règle de 1 à 2 m.,
2 lampes à souder,
1 cisaille à main,
1 maillet,
1 équerre,
1 compas,
1 pointeau,
1 pointe à tracer,

2 battes,
2 loupes,
1 griffe,
1 grattoir,
1 écrouette,
1 scie,
1 série de coupe-tubes,
1 série de filières,
1 série de tarauds,
1 étau à tubes,
1 série de pinces à gaz,
1 série de clefs à tubes,

E. LABBÉ,

Directeur de l'Enseignement technique
au Sous-Secrétariat d'Etat de l'Enseignement technique.

Assemblées générales

Société centrale pour l'Industrie électrique.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 6 MARS 1922.

Le rapport du Conseil expose que l'augmentation récente du capital a apporté à la société les ressources nécessaires pour développer ses opérations et traverser sans difficulté la période de crise. Elle a accru ses participations dans la Compagnie centrale d'Energie électrique et dans la Société d'Électricité et de Mécanique, et pris des intérêts dans la Compania Hispano-Americana de Electricidad.

Dans l'ensemble, les résultats des entreprises dans lesquelles la Société centrale a des intérêts, ont été satisfaisants. La Compagnie centrale d'Energie électrique, notamment, a obtenu des résultats en notable progression, résultats d'autant plus intéressants que la production des usines génératrices, paralysée par la crise industrielle, n'a dépassé que de 8 pour 100 celle de 1919. Quant à l'exercice 1921, il permettra la répartition d'un dividende supérieur au précédent.

Le premier exercice de la Société algérienne d'Eclairage et de Force, qui a comporté six mois effectifs d'exploitation, a été favorable. Il a été distribué un dividende de 6 pour 100 prorata temporis.

L'Union d'Électricité poursuit avec activité son programme de travaux. Les résultats de 1921 seront de même ordre que ceux de 1920, mais la situation sera entièrement modifiée en 1922 par l'entrée en service de l'usine de Gennevilliers.

La Compagnie électrique de la Loire et du Centre, qui a souffert de la sécheresse de l'été dernier, a vu ses recettes

d'exploitation augmenter de 60 pour 100 sur celles de l'exercice précédent. Elle aurait pu distribuer un dividende de 7 pour 100; mais, en raison du caractère provisionnel de plus de 5 millions de recettes — bien que déjà sanctionnées par des entreprises contradictoires — le solde bénéficiaire a été reporté à nouveau.

Pour la Société alsacienne et lorraine d'Electricité, l'exercice écoulé a été une période d'organisation. De même, l'année 1920 a été pour la Société d'Electricité et de Mécanique une période de transformation.

En ce qui concerne les Compagnies réunies Gaz et Electricité de Lisbonne, des arrangements ont été négociés en vue de la reprise du service des obligations.

La Société d'Electricité de Rosario et les Tramways et Electricité de Constantinople ont donné, de leur côté, des résultats satisfaisants.

En ce qui concerne la Compania Hispano-Americana de Electricidad, constituée en 1919, les bénéfices nets ont dépassé 24 millions de pesetas; il a été réparti un dividende de 8 pour 100.

La société a fait d'importants amortissements sur sa participation dans la société Force électrique, de Bakou. Les installations de cette société continuent à fonctionner, mais le matériel a beaucoup souffert de l'usure.

Déduction faite des frais généraux, charges et amortissements, le solde bénéficiaire net de l'exercice s'élève à 1 277 183 fr. A l'unanimité, l'assemblée a fixé le dividende à 25 fr brut par action, payables à partir du 1^{er} avril prochain.

SECTION DE LÉGISLATION

Le nom commercial

L'auteur examine dans quelles conditions le nom commercial peut être protégé contre les usurpations (lois de 1824, de 1857, de 1905).

I. — Le nom constitue une propriété exclusive et imprescriptible ; chacun est donc libre d'en user comme il le veut, en particulier pour l'usage de son commerce. Lorsque deux individus portent le même nom et exercent le même négoce, il leur est loisible de s'en servir également, mais à la condition toutefois d'éviter loyalement toute confusion préjudiciable. C'est ainsi, par exemple, que, lorsque le descendant d'une famille, dont le nom est attaché à une maison connue, veut s'établir lui-même, il doit prendre soin d'établir une distinction entre l'ancienne et la nouvelle maison (fils aîné de...) et les tribunaux, lorsqu'une confusion peut exister entre deux maisons rivales dont les propriétaires portent le même nom, peuvent ordonner toutes mesures qu'ils jugent utiles pour l'éviter.

La propriété du nom commercial est à la fois protégée par la loi de 1857 et celle de 1824. La loi de 1857 sur les marques de fabrique protège le nom commercial dans sa rédaction, son aspect, à raison de sa forme distinctive, caractérisant le produit, comme tout autre signe employé comme marque. La loi de 1824 réprime toute usurpation de nom ; son article premier est ainsi conçu : « Quiconque aura, soit apposé, soit fait apparaître par addition, retranchement ou par une altération quelconque sur des objets fabriqués, le nom d'un fabricant autre que celui qui en est l'auteur, ou la raison commerciale d'une fabrique autre que celle où les objets auront été fabriqués, ou enfin le nom d'un lieu autre que celui de la fabrication, sera puni des peines portées en l'article 423 (Code pénal) sans préjudice des dommages-intérêts, s'il y a lieu ; tout marchand, commissionnaire ou débitant quelconque sera passible des effets de la poursuite, lorsqu'il aura sciemment exposé en vente ou mis en circulation les objets marqués de noms supposés ou altérés. »

La protection est donc double, s'il y a dépôt comme marque ; elle est simple, en l'absence du dépôt, par le seul fait de l'usurpation du nom commercial et de la raison commerciale, c'est-à-dire une forme particulièrement grave de la concurrence déloyale ; l'usurpation du nom d'une personne en dehors de tout emploi commercial ne met en jeu qu'une action civile, sans que la loi de 1824 puisse s'appliquer. Au nom et à la raison commerciale, il faut assimiler le nom appartenant à une collectivité de personnes (Chartreux, Bénédictins) et le pseudonyme (Job) ; mais les noms de fantaisie employés par les maisons de vins de Champagne (marquis de X) ne sont protégeables que par la loi de 1824 ; de même les initiales, les chiffres. Le nom commercial, le nom d'un inventeur célèbre peut être considéré

comme devenu générique (Quinquet, Bretelle) ; c'est aux tribunaux de l'apprécier, mais il faut un long usage, et le consentement exprès ou tacite du propriétaire du nom pour en permettre l'emploi, ou que ce nom soit devenu la désignation nécessaire du produit. Quant au nom ou au groupe de noms employés comme raison sociale, il disparaît en principe avec la société, à moins que, par conventions spéciales, les associés n'autorisent l'un ou quelques-uns d'entre eux à le conserver ; il est nécessaire au surplus d'indiquer que c'est une autre société qui reprend la raison sociale ancienne. De même un commerçant, en cédant son fonds, peut céder son nom commercial ; il peut même le céder indépendamment du fonds lui-même, mais il ne faut pas que cette cession de nom permette de réaliser une tromperie sur la qualité des produits ; en d'autres termes, la cession du nom d'un commerçant, indépendamment du fonds justement réputé, ne doit pas avoir pour but d'attirer la clientèle et d'autoriser une concurrence déloyale ; la question n'a d'ailleurs que peu d'intérêt pratique.

Les tribunaux disposent d'un pouvoir discrétionnaire pour apprécier la légitimité de l'emploi d'un nom susceptible d'amener une confusion (homonyme) ; ils peuvent même en interdire l'emploi, s'il est établi qu'il constitue un moyen de concurrence déloyale avec une maison réputée ; la plupart du temps, ils se contentent néanmoins d'en réglementer l'emploi en imposant des adjonctions distinctives (adjonction du prénom : Chocolat Menier et François Menier ; ou ancienne maison X, un tel successeur ; maison X et maison X frères). De même, il appartient aux tribunaux d'interdire l'emploi dans une raison sociale du nom d'un tiers, si l'apport de ce nom n'a été provoqué que pour faire concurrence à une maison plus ancienne.

La loi de 1824 réprime en fait non seulement l'usurpation du nom commercial appartenant à des personnes, mais encore l'usurpation des noms de localité destinés à tromper les consommateurs sur la provenance des produits. On appelle noms de localité ou noms de lieu les noms désignant une agglomération connue (articles de Paris, tuiles de Montchanin, fromages de Roquefort, un cru classé : Saint-Julien, Château-Yquem) ; ou un lieu de fabrication, en l'entendant dans un sens assez large (toile de Vimoutiers pour la région voisine, champagne, cognac) ; mais il faut que la fabrication essentielle ait lieu dans la région désignée, ou que la propriété dans le lieu soit effective et suffisante ; par exemple, il n'est pas permis à un négo-

ciant en vins de s'instituer propriétaire à Musigny (Bourgogne) s'il ne possède qu'un lopin de terre insignifiant, où il s'y fait seulement adresser sa correspondance.

Le nom du lieu comme le nom commercial peut devenir, dans certains cas, générique (eau de Cologne, savon de Marseille, dentelle de Venise) ; mais dans ces cas, il n'est plus l'objet déterminant de la vente.

II. — L'usurpation du nom n'est punissable que si elle a lieu au moyen d'apposition matérielle sur les produits ou sur les enveloppes qui les couvrent ou les renferment, par la suppression du nom sur les produits qui en étaient revêtus, par l'adjonction au nom de celui de l'imitateur ou d'autres mentions, ou par la déformation dudit nom (Gonté pour Conté, Byr pour Byrrh) ; dans tous les autres cas (emploi comme enseigne, moyen de publicité), il ne constitue que des actes de concurrence déloyale. Dans le premier cas, c'est l'article premier de la loi de 1824 qui s'applique et cumulativement avec la loi de 1857, si le nom a été déposé comme marque ; dans le second cas, c'est le droit commun (art. 1382 du Code civil) qui permet de réprimer la concurrence déloyale commise. La loi de 1824 réprime également l'usurpation par l'adjonction au nom des mots : façon de, système de, genre, de etc... En résumé, il y a délit toutes les fois qu'une addition, un retranchement ou une altération quelconques peuvent amener la confusion des produits similaires avec les produits protégés de fabrication antérieure. Il faut entendre par produits, non seulement ceux de l'industrie, mais ceux de l'agriculture et les produits minéraux livrés au commerce.

Le délit doit être consommé pour que la loi de 1824 s'applique ; cependant, dès que la tentative a reçu un commencement d'exécution, elle est punissable. L'exposition en vente doit être assimilée à la mise en vente, de même que la vente en France de produits fabriqués à l'étranger et introduits en fraude des droits du propriétaire du nom. Les complices sont punissables comme l'auteur principal, mais, si ce dernier ne peut invoquer sa bonne foi, les complices (commissionnaires, débiteurs) sont admis à l'établir, bien que, dans la plupart des cas, ce leur soit une tâche bien difficile.

Tout intéressé peut agir, que ce soit le fabricant lésé ou le consommateur trompé.

La loi de 1824 ne réprime que l'apposition ou la suppression du nom sur les produits fabriqués ; la loi du 1^{er} août 1905 (art. 1^{er}) punit quiconque a trompé ou tenté de tromper le contractant sur l'origine de toutes marchandises, mais à la condition que la désignation de l'espèce ou de l'origine faussement attribuée aux marchandises soit considérée comme la cause principale de la vente ; la loi de 1905 protège donc, en sus des noms de lieux de provenance des produits fabriqués, tous les noms de provenance réels ou fictifs des produits naturels destinés à l'alimentation ou à l'usage ; mais alors que la loi de 1824 ne met aucune condition à la poursuite, la loi de 1905 exige que l'indication trompeuse ait été la cause essentielle de la vente, ce qui en limite singulièrement l'application.

Aucun dépôt n'est nécessaire ; toute personne lésée peut poursuivre le fabricant, dont le nom est usurpé, aussi bien que le consommateur lésé, ou le syndicat qui subit un préjudice (syndicat des viticulteurs d'une région, dont le nom du lieu est usurpé). La loi de 1905 ne permet toutefois la poursuite qu'au contractant, c'est-à-dire au consommateur, et non au concurrent ; cependant la jurisprudence tend de plus en plus à autoriser les syndicats lésés collectivement à intervenir dans les poursuites intentées par le ministère public contre les fraudeurs, ainsi qu'à étendre aux consommateurs eux-mêmes le bénéfice de la loi. La loi du 6 mai 1919 et celle sur la capacité civile des syndicats permettent désormais aux syndicats d'intervenir dans tous les cas. C'est assez généralement le Parquet qui poursuit d'office sur la plainte, ou sans la plainte de la partie lésée. L'action est portée devant le tribunal correctionnel ou, si c'est le commerçant lésé qui agit seul et directement en réparation du préjudice causé, devant le tribunal de commerce.

Le délit est constaté par tous moyens (factures, correspondance, etc.) Lorsque le nom est déposé, ce qui est le cas le plus fréquent, il est procédé aux saisies, constatations, etc., prévues par la loi de 1857.

Aux termes de l'article 423 du Code pénal, les pénalités étaient de trois mois à un an d'emprisonnement, avec amende ne pouvant excéder le quart des restitutions et dommages-intérêts, mais sans être inférieures à 50 fr, avec possibilité d'affichage et d'insertions dans la presse. La loi du 1^{er} août 1905 a abrogé l'article 423 par son article 15, qui décide que les pénalités édictées par ladite loi de 1905 sont substituées à celles édictées par l'article 423 du Code pénal, et la loi de 1851 sur les fraudes des marchandises « dans tous les cas où les lois postérieures renvoient aux textes desdites lois ; notamment dans l'article premier de la loi de 1824. » Cet article prévoit la peine d'emprisonnement de trois mois à un an avec amende de 100 fr à 5 000 fr, ou l'une des deux peines seulement. L'article 463 du Code pénal sur les circonstances atténuantes, est applicable pour la loi de 1824 comme pour celle de 1905 ; de même le sursis sauf en ce qui concerne l'amende prévue par la loi de 1905.

Les objets confisqués sont attribués à l'administration de l'Assistance publique et non aux intéressés lésés ; mais, s'il y a dépôt du nom comme marque, le propriétaire pourra en obtenir la remise, à titre de réparation, indépendamment des dommages-intérêts.

La Convention d'Union de 1883 (art. 8) décide que : « le nom commercial sera protégé dans tous les pays de l'Union, sans obligation de dépôt, qu'il fasse ou non partie d'une marque de fabrique ou de commerce » ; par conséquent, la protection est la même qu'en France dans les pays signataires de la convention.

D'autre part, la jurisprudence décide que les conventions diplomatiques pour la protection des marques, peuvent, quand leurs termes sont généraux, s'étendre en fait au nom commercial.

FERNAND-JACQ,
Docteur en droit, Avocat à la
Cour de Paris.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité
réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 12.

25 MARS 1922.

Chronique. — Les caractères essentiels de la sécheresse des années 1920-1921 en France. — Bibliographie : Appareils et installations télégraphiques, par E. MONTORIOL, p. 417-418.

Section scientifique et technique. — Henrymètre à lecture directe, par R. BARTHÉLEMY, p. 419. — Quelques remarques concernant les aimants de volume fini et les courants non linéaires, par A. LIÉNARD, p. 424. — Revues, analyses et informations : Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique, p. 426; Un régulateur de tension automatique, p. 430; Mesure des écarts par rapport à la loi d'Ohm dans les métaux soumis à de fortes densités de courant, p. 430.

Section industrielle. — Description et fonctionnement du système « train despatching » de la Western Electric Company, par H. FLORANT, p. 431. — Les fours électriques et l'électrometallurgie d'après les brevets récents, par L. JUMAU, p. 436. — Revues, analyses et informations : Perfectionnements aux dispositifs d'imprégnation des câbles électriques isolés au papier, p. 441; Calcul des électro-aimants à courant continu, p. 442.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Electricité et Gaz du Nord, p. 445; Société industrielle des Téléphones, p. 446.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Décret modifiant le décret du 7 février 1907 fixant la composition du Comité permanent d'Electricité, p. 447; Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires aux sociétés coopératives, p. 447; Sur l'application de la loi sur les bénéfices de guerre, p. 447; Loi ayant pour objet la modification de certains articles du Code de Commerce concernant la lettre de change et le billet à ordre, p. 447.

Erratum, p. 448.

Les caractères essentiels de la sécheresse des années 1920-1921, en France. — M. A. TARRADE publie dans l'« Annuaire de la Société météorologique de France » une étude documentée sur « La sécheresse des années 1920-1921 dans la région des Alpes et le sud-est de la France ». Nous reviendrons ultérieurement sur cet important mémoire qui intéresse particulièrement les exploitants d'usines hydroélectriques. En attendant, nous nous proposons, à l'occasion de cette publication, d'insister ici sur les caractères essentiels, au point de vue général de la production de l'énergie hydroélectrique en France, de la période qui, commençant en octobre (ou même en août) 1920, a pris fin en novembre 1921.

L'étude de M. Tarrade se rapporte principalement à la région comprise entre les Alpes, le Jura, la Saône, le Rhône et la Méditerranée. Il serait possible de rassembler et de discuter pour la France tout entière des documents analogues à ceux qui sont à la base du travail précité. Par ce que nous ont déjà appris les communications faites à diverses sociétés savantes, par la lecture des revues agricoles et économiques, nous sommes en quelque sorte prévenus que les résultats d'une enquête plus vaste ne pourraient que confirmer et généraliser les résultats obtenus pour le sud-est de la France.

La sécheresse des années 1920-1921 a été aussi remar-

quable par sa durée que par l'étendue des régions où elle s'est fait durement sentir. En effet, dans le bassin de Paris, par exemple, la plus longue sécheresse enregistrée avant 1920 n'avait duré que cinquante-cinq jours (du 15 mars au 8 mai 1893); celle qui a pris fin en décembre dernier a duré seize mois.

Les hauteurs d'eau météorologique recueillies par les pluviomètres pendant ces seize mois ont été anormalement faibles.

Appelons *valeur normale* d'un élément météorologique la valeur moyenne de cet élément qui résulte des mesures effectuées pendant un grand nombre d'années consécutives. Appelons *écart* d'un élément le rapport à la valeur normale, de la différence entre une valeur particulière et la valeur normale du même élément. Tandis qu'un écart pluviométrique annuel de 20 centièmes est exceptionnel, nous constatons, en 1920-1921, pour une durée plus longue qu'une année, des écarts pluviométriques échelonnés de 33 centièmes (Paris) à 73 centièmes (Nice).

On sait que les études hydrauliques et hydrométriques permettent, pour chaque bassin fluvial, d'établir une relation entre les hauteurs pluviométriques et les débits des cours d'eau. On passe d'un élément à l'autre au moyen d'une fonction complexe ou coefficient d'utilisation. Remarquons qu'au cours d'une période de sécheresse :

1° Les quelques pluies qui tombent ne pénètrent que la couche superficielle du sol ; par suite, les eaux d'imbibition sont plus rapidement évaporées qu'en temps normal ; 2° le ruissellement des eaux météoriques est plus faible qu'en temps normal. D'où il résulte que le coefficient d'utilisation des cours d'eau doit être plus faible qu'en temps normal ; et qu'aux écarts pluviométriques exceptionnellement anormaux doivent correspondre des écarts de débit plus exceptionnellement anormaux encore. Cette conclusion importante est vérifiée par les nombreuses données numériques recueillies par M. Tarrade, qui nous ont permis de calculer les écarts de débit suivants :

- 51 centièmes pour l'Isère ;
- 72 centièmes pour le Fier ;
- 42 centièmes pour la Romanche ;
- 58 centièmes pour le Drac ;
- 55 centièmes pour la Durance ;
- 56 centièmes pour le Verdon.

On peut se représenter, d'après la grandeur de ces écarts globaux pour la période de sécheresse, l'importance des diminutions de débit subies par les cours d'eau aux mois les plus critiques de 1920-1921, et la chute de production des usines hydroélectriques.

Les notes géographiques de M. Charles Rabot qui précèdent l'étude de M. Tarrade mettent en pleine lumière les causes immédiates de l'abaissement absolument anormal des débits d'étiage. Est-il possible de remonter à des causes moins immédiates, de se prémunir contre de tels accidents météorologiques, de prévoir enfin ces anomalies de longue durée si préjudiciables à l'industrie ?

Dans une communication à l'Académie d'Agriculture, en date du 21 décembre 1921, M. A. Angot a fait remarquer qu'au cours de la période de sécheresse une zone de hautes pressions a régné d'une façon à peu près continue sur la France ou dans son voisinage immédiat ; cette zone anticyclonale a rejeté les trajectoires des dépressions assez loin de notre pays pour que les bourrasques, avec les secteurs de pluie qui les accompagnent dans leurs translations, ne fassent pas sentir leurs effets sur la France ; les vents humides du sud et du sud-ouest ont été bien moins fréquents que d'habitude, tandis que les vents secs du nord, de l'est et du nord-est ont été, au contraire, beaucoup plus fréquents.

Dans l'état actuel de la science, il n'est pas possible de remonter aux causes de l'anticyclone. La prévision de ce météore qui, en raison de sa stabilité, semble devoir permettre un jour la prévision de longues périodes météorologiques de caractères bien nets, est actuellement impossible.

L'étude que nous venons de faire, sommaire et à bien des égards incomplète, nous conduit aux conclusions suivantes :

La sécheresse 1920-1921, générale et simultanée pour

la France entière ⁽¹⁾, a été exceptionnellement anormale par sa durée ;

Les débits des cours d'eau ont subi des écarts de débit, par défaut, au moins aussi considérables que les écarts pluviométriques, et ces derniers ont varié de 33 à 73 centièmes ;

De tels écarts n'avaient jamais été observés ; ils étaient, scientifiquement imprévisibles.

Tandis que pour les agriculteurs le déficit de production a été, partiellement, compensé par un relèvement des prix, les producteurs d'énergie hydroélectrique ont dû subir, sans aucune atténuation, les conséquences de la sécheresse et se plier aux exigences d'un cas de force majeure. — J. R.

Bibliographie : Appareils et installations télégraphiques ; par E. MONTORIOL ⁽²⁾, professeur à l'Ecole supérieure des Postes, Télégraphes et Téléphones. — Cet ouvrage est le premier volume qui paraît, de l'Encyclopédie d'électricité industrielle. Il fait partie des quatre ouvrages consacrés à la technique télégraphique, qui constitue une branche spéciale de l'électricité industrielle. Cette technique, assez étroitement spécialisée, exige, en effet, des connaissances théoriques très approfondies quand il s'agit des lignes de transmissions télégraphiques et téléphoniques et des transmissions radiotélégraphiques, et, d'autre part, des connaissances développées jusqu'au plus petit détail de construction et d'installation quand il s'agit des appareils télégraphiques et téléphoniques. Aussi le directeur de l'Encyclopédie d'électricité industrielle, M. A. Blondel, a-t-il jugé préférable de mettre à part toute la partie théorique générale des transmissions télégraphiques et téléphoniques dans un ouvrage spécial, de consacrer à la radiotélégraphie un autre ouvrage spécial, et de grouper dans deux volumes indépendants tout ce qui concerne respectivement la pratique de la télégraphie et la pratique de la téléphonie en les débarrassant de toute question de théorie pure.

Dans l'ouvrage que nous signalons, M. Montoriol a cru devoir, avec raison, comme le fait remarquer M. Blondel dans la préface, insister particulièrement sur la description des appareils de construction française, sans, toutefois, négliger les appareils étrangers importants que l'on peut appeler « représentatifs » des méthodes différentes des nôtres.

Nous ne pouvons donner dans ces lignes que les titres des neuf parties qui composent cette étude, car la diversité et le grand nombre des appareils et méthodes qui sont décrits dans l'ouvrage, nous entraînerait trop loin. La première partie a pour sujet les appareils à transmission simple ; la seconde a pour titre : moyens d'augmenter le rendement des lignes ; la troisième, appareils à transmission automatique ; la quatrième, systèmes à transmissions multiples ; les différentes sources d'électricité sont étudiées dans la cinquième partie ; les organes accessoires font l'objet de la sixième ; puis les montages de postes, les tableaux commutateurs et les batteries centrales télégraphiques sont décrits dans les septième, huitième et neuvième parties.

Ajoutons qu'une importante bibliographie, une table alphabétique de noms d'auteurs et un index alphabétique des noms d'appareils complètent cet ouvrage.

⁽¹⁾ Voir pour la sécheresse en Italie, *R. G. E.* du 7 janvier 1922, t. XI, p. 3 B.

⁽²⁾ Un volume, format 23 cm × 16 cm, 612 pages, 445 figures, édité par la librairie J.-B. Baillière, 19, rue Hauteville, Paris. Prix : 40 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Henrymètre à lecture directe

Il n'est pas douteux que la mesure rapide d'un coefficient de self-induction, ou d'induction mutuelle, serait, dans bien des cas, et surtout dans les circuits à courants alternatifs, plus intéressante que la mesure des résistances, qui reste jusqu'ici la seule pratique. Il suffit de songer, en effet, que la connaissance de la self-inductance pourrait servir à prévoir le courant à vide d'un transformateur, à déterminer ses fuites, à déceler les spires en court-circuit d'un bobinage, à la vérification des induits de moteurs ; au calcul des forces électromotrices d'induction, des phénomènes de résonance, des flux, etc. L'apparition concrète, sur un cadran, de la valeur en henrys, d'un coefficient de self-induction, rendrait d'ailleurs beaucoup plus familier l'emploi de cette grandeur, qui intervient dans le moindre calcul, mais qui reste cependant une abstraction un peu lointaine, parce qu'on ne la détermine qu'indirectement et par des montages souvent complexes. L'auteur présente, dans l'article ci-après, un appareil de son invention qui peut rendre cette mesure aussi pratique que celle d'une résistance par un ohmmètre à magnéto.

Dans l'étude d'un tel appareil, que nous avons pu mener à bien dans les spacieux laboratoires de la Compagnie des Compteurs, on peut se poser, à priori, les principales conditions suivantes :

1° Produire le plus grand effet possible par l'intervention de la self-induction à mesurer (ce qui nous conduit à avoir une source alternative de fréquence aussi élevée que possible) ;

2° Employer un appareil de mesure consommant

très peu, la puissance de la magnéto étant limitée ;

3° Rendre, dans de larges limites, la lecture indépendante de la vitesse de la magnéto et de la résistance ohmique de la self-inductance.

Le problème a été résolu de la façon suivante (fig. 1) :

Une petite magnéto spéciale donne une tension alternative d'une fréquence voisine de 200 p. s. ; elle débite un courant alternatif que l'on fait passer dans la self-inductance à évaluer, en série avec la self-inductance

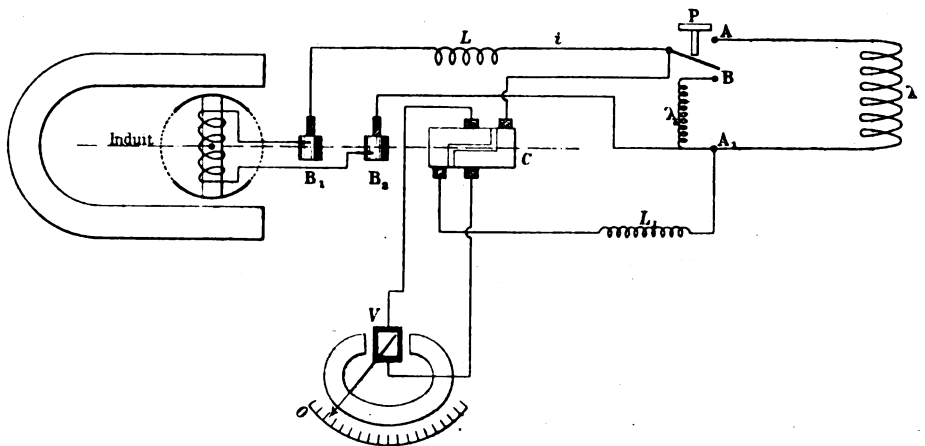


Fig. 1.

fixe L ; et l'on mesure par un appareil à courant continu à cadre mobile, donc de consommation infime, la différence de potentiel aux bornes de cette self-inductance, après avoir préalablement redressé cette tension par un commutateur synchrone, convenablement calé sur l'axe de la magnéto. Cette mesure est proportionnelle à la self-inductance.

Le courant sort de l'induit de la magnéto par la

bague B_1 , il traverse la self-inductance L , fixe, faisant partie de l'appareil, puis la self-inductance à mesurer, λ , connectée aux bornes A et A_1 ; le poussoir P est supposé levé. Si ce poussoir est abaissé, le courant passe dans une self-inductance de comparaison λ_0 , au lieu de passer dans λ . Il retourne à l'induit par la bague B_2 .

La tension alternative existant entre A et A_1 est amenée au collecteur redresseur C par l'intermédiaire

de la self-inductance fixe L_1 . Cette self-inductance est établie en tenant compte de la consommation du cadre voltmétrique V , qui indique alors la *tension moyenne redressée*.

L'appareil se présente donc exactement comme un ohmmètre à magnéto : une ébénisterie dans laquelle sont montés les différents organes : magnéto, voltmètre, et self-inductances. Il suffit, pour faire une lecture, de connecter la self-inductance à mesurer aux deux bornes et de tourner la manivelle de la magnéto. *La déviation du cadre n'est fonction, très sensiblement, que de la valeur en henrys de l'enroulement à étudier.*

En effet, la self-induction L est toujours très grande vis-à-vis de la self-induction à mesurer λ (dont la valeur doit être comprise dans les limites de l'échelle), et, d'autre part, la dérivation de courant dans le circuit voltmétrique est insignifiante à côté du courant total.

Soit r la résistance de la self-induction λ . Par construction la résistance de la bobine de self-induction L est négligeable vis-à-vis de $L\omega$.

La tension u_1 , aux bornes de la self-induction λ est déphasée d'un angle φ sur la tension U aux bornes de la magnéto, comme le montre le diagramme ci-contre (fig. 2).

Si la résistance r était nulle, φ serait nul. Calons le collecteur redresseur de telle sorte que, dans ce cas,

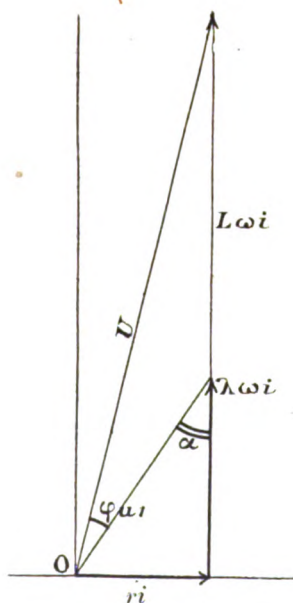


Fig. 2.

la tension U_1 soit entièrement redressée. La lecture du voltmètre indique alors U_1 moyen.

Supposons que l'introduction de la résistance r déphase u_1 d'un angle φ ; cette tension est alors imparfaitement redressée. Le voltmètre, qui indique une tension moyenne, donnera une déviation fonction de ce déphasage φ . Calculons la valeur moyenne de la ten-

sion u_1 , redressée, représentée dans ce cas, par le diagramme (fig. 3).

La surface totale, entre 0 et π , peut s'écrire

$$S = u_{\max} \left[\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \omega t dt - \left[2 - \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \omega t dt \right] \right], (\varphi = \omega t_1).$$

En intégrant entre les limites, on obtient

$$S = 2 u_{\max} \cos \varphi.$$

La valeur moyenne est

$$u_{(\text{redressé moyen})} = \frac{2 u_{\max}}{\pi} \cos \varphi = u_{1(\text{moyen})} \cos \varphi,$$

Le voltmètre indique donc une valeur proportionnelle à

$$D = u_{\text{eff}} \cos \varphi = i \sqrt{r^2 + \lambda^2 \omega^2} \cos \varphi,$$

Etant données les valeurs relatives possibles de L, λ ,

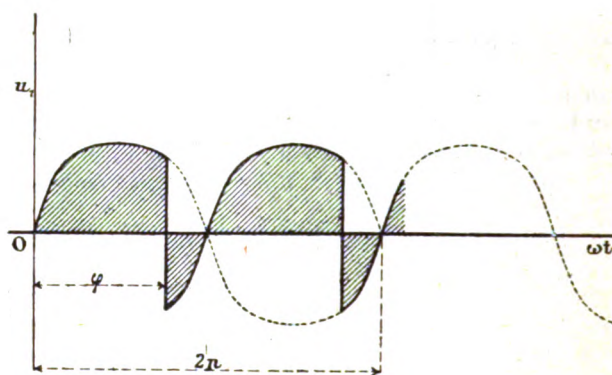


Fig. 3.

et r , on peut, en première approximation, confondre $\cos \varphi$ et $\cos \alpha$, car $L > 10 \lambda$, et écrire

$$\cos \varphi = \frac{\lambda \omega}{\sqrt{r^2 + \lambda^2 \omega^2}}.$$

D'autre part, on a très sensiblement, par suite de la grande valeur de L ,

$$i = \frac{U}{(\lambda + L) \omega},$$

L'expression D devient donc

$$D = \frac{U_1}{(L + \lambda) \omega} \times \sqrt{r^2 + \lambda^2 \omega^2} \times \frac{\lambda \omega}{\sqrt{r^2 + \lambda^2 \omega^2}} = U_1 \frac{\lambda}{L + \lambda},$$

expression où la résistance r n'intervient plus. Toutefois cette valeur de D serait encore très dépendante de la fréquence, car la tension U de l'induit est proportionnelle à la vitesse : $U = K\omega$; c'est alors qu'inter-

vient la self-induction L_1 qui est intercalée avant le redresseur, sur le circuit voltétrique. Le courant qui passe dans ce cadre est

$$(1) \quad i_e' = K\omega \frac{\lambda}{L + \lambda} \times \frac{1}{L_1\omega} = \frac{K}{L_1} \cdot \frac{\lambda}{(L + \lambda)}.$$

Ce courant est aussi indépendant de la fréquence. Comme les bobines de self-induction L et L_1 sont fixes et font partie de l'appareil, on constate que la déviation ne dépend plus que de la self-induction λ . Cette déviation est d'ailleurs à peu près proportionnelle à λ , car on a admis, a priori, que l'on avait L très grand vis-à-vis de λ .

En réalité, par suite de la réaction d'induit de la magnéto, variable avec la vitesse, l'indication varie un peu avec la fréquence. C'est pourquoi l'on a prévu un repérage de vitesse : en appuyant sur le poussoir P, on met en circuit la self-inductance connue λ_0 qui permet un tarage instantané.

Les relations ci-dessus, qui indiquent une parfaite indépendance relativement à la valeur de la résistance ohmique de la self-inductance ne sont valables, bien entendu, que si cette résistance ne dépasse pas certaines limites. On peut admettre en pratique que si l'on a

$$r < 100 \lambda,$$

(λ en henrys, r en ohms), la lecture n'a pas besoin de correction.

Ceci renferme la plupart des cas : enroulements de transformateurs, de bobines d'induction avec noyau de fer, etc.

Un calcul plus complet permet de se rendre compte de la correction à effectuer en fonction de la résistance du circuit.

En considérant le diagramme 2, on peut écrire

$$L^2\omega^2 i^2 = U^2 + (r^2 + \lambda^2\omega^2) i^2 - 2Ui\sqrt{r^2 + \lambda^2\omega^2} \cos \varphi,$$

d'où

$$\cos \varphi = \frac{U^2 + i^2(r^2 + \lambda^2\omega^2) - L^2\omega^2 i^2}{2Ui\sqrt{r^2 + \lambda^2\omega^2}}.$$

En remplaçant i par sa valeur

$$i = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (L + \lambda)^2\omega^2}},$$

on trouve, après calculs, la valeur de $\cos \varphi$

$$\cos \varphi = \frac{r^2 + (L + \lambda)\lambda\omega^2}{\sqrt{(r^2 + \lambda^2\omega^2)[r^2 + (L + \lambda)^2\omega^2]}}.$$

L'expression D s'écrit donc exactement

$$D = u_1 \cos \varphi = i_1 \sqrt{r^2 + \lambda^2\omega^2} \cos \varphi = U \frac{r^2 + (L + \lambda)\lambda\omega^2}{r^2 + (L + \lambda)^2\omega^2},$$

Le courant moyen redressé dans le cadre, i_e , est alors de la forme

$$(2) \quad i_e = \frac{K}{L_1} \frac{\frac{\lambda}{L + \lambda} + \frac{r^2}{(L + \lambda)^2\omega^2}}{1 + \frac{r^2}{(L + \lambda)^2\omega^2}}.$$

Quand $r = 0$, on retrouve la valeur

$$i_0 = \frac{K}{L_1} \cdot \frac{\lambda}{L + \lambda}.$$

Un exemple numérique (en supposant la fréquence 200 p.s, une valeur de L de 1 henry, de λ de 0,1 henry, r de 10 ohms) montre que l'erreur commise sur i_e en négligeant r , est de l'ordre de 1/1000.

Applications. — 1° Détermination du courant magnétisant d'un transformateur T : le secondaire S étant ouvert, on connecte le primaire au henrymètre (fig. 4).

La lecture donne une valeur λ henrys.

On en déduit de suite le courant i_m que prendrait le transformateur sous une tension U à la pulsation ω .

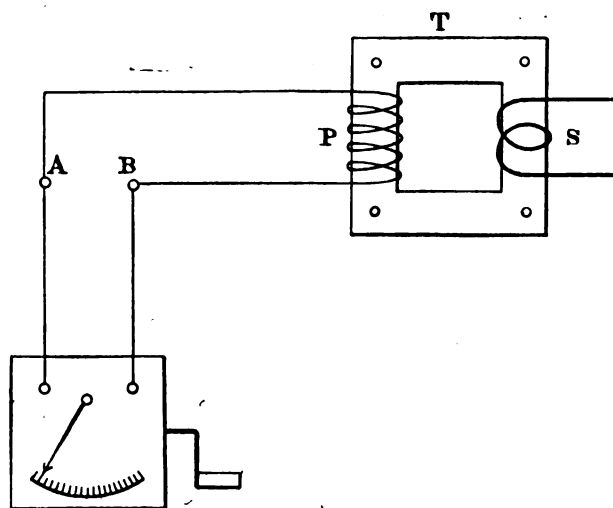


Fig. 4.

Toutefois, il faut remarquer que la valeur de la self-induction λ mesurée, correspond à une perméabilité μ , qui est fonction surtout, pour un circuit magnétique fermé, du nombre d'ampères-tours donnés par le courant i de la magnéto. Or, ce courant est connu approximativement, d'après le calibre du henrymètre. Connaissant la courbe $\mu = f(H)$ du fer, on peut en déduire λ pour une autre induction.

D'ailleurs, on peut vérifier le transformateur sous tension en faisant travailler le fer à une induction déterminée. Il suffit de placer une bobine de self-inductance L suffisante, ou mieux un système self-inductance et capacité L, C , qui forme « bouchon » pour la fréquence

normale de la magnéto, en série avec le secondaire S (fig. 5) et d'alimenter ce circuit par une tension u , fournie par le réseau et choisie de telle sorte qu'elle corresponde au régime normal du transformateur T.

Il est facile de voir que l'indication du henrymètre

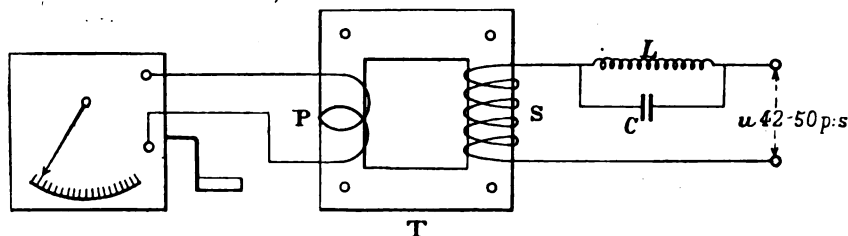


Fig. 5.

n'est pas influencée par l'existence d'une force électromotrice dans le primaire P, de fréquence très différente de celle de la magnéto. On a ainsi l'avantage de vérifier le transformateur en fonctionnement et de connaître la valeur de la self-induction λ correspondant à l'induction normale.

2° Détermination des fuites d'un transformateur : La méthode de Kapp (fig. 6) dans l'essai des transformateurs par le court-circuit du secondaire donne la relation

$$U_1 = i_1 (R_1 + a^2 R_2) + \frac{di_1}{dt} (l_1 + a^2 l_2), \quad (3)$$

en appelant i_1 le courant dans le primaire ; R_1 , R_2 , les résistances primaire et secondaire ; l_1 , et l_2 , les self-

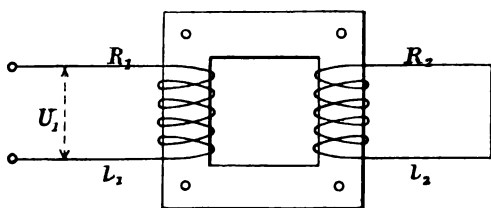


Fig. 6.

inductances de fuites et a , le rapport de transformation. On peut, par une mesure directe au henrymètre, connaître l'expression $(l_1 + a^2 l_2)$ qui caractérise la *self-inductance de fuites* du transformateur et permet de tracer ensuite, par la méthode ordinaire, le diagramme du transformateur à essayer. On évite ainsi un essai compliqué.

Il suffit pour cela de connecter le henrymètre aux deux bornes primaires et de mettre le secondaire en court-circuit. La lecture donnera une indication λ et, d'après l'équation 3, on a immédiatement $\lambda = l_1 + a^2 l_2$.

3° Effet d'une spire en court-circuit : Prenons l'exemple d'un transformateur T, sans fuites, dans lequel le bobinage à essayer, de n_1 spires, présente un

court-circuit sur n_2 spires (fig. 7). Ce circuit secondaire a une résistance r_2 . On peut écrire, très sensiblement, dans le cas de l'essai au henrymètre (en appelant Φ le flux, i_1 et i_2 les courants primaire et secondaire, \mathcal{R} la réluctance du circuit magnétique T

$$\mathcal{R} \Phi = 4\pi n_1 i_1 + 4\pi n_2 i_2.$$

$$n_1 = n_1 \frac{d\Phi}{dt}.$$

$$0 = n_2 \frac{d\Phi}{dt} + r_2 i_2.$$

On en déduit i_2 et $\frac{d\Phi}{dt}$ en fonction de U_1 et i_1 . En dérivant et remplaçant, on obtient la relation

$$\mathcal{R} \frac{u_1}{n_1} = 4\pi n_1 \frac{di_1}{dt} + \frac{4\pi n_2}{r_2 n_1} \frac{du_1}{dt}.$$

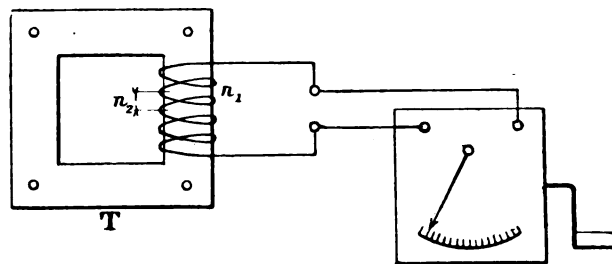


Fig. 7.

En appelant L_0 la self-induction du bobinage sans court-circuit, et sachant que $L_0 = \frac{4\pi n_1^2}{\mathcal{R}}$, on a l'égalité

$$u = L_0 \frac{di_1}{dt} + \frac{4\pi n_2}{\mathcal{R} r_2} \frac{du}{dt}.$$

Ce qui se traduit par le diagramme ci-contre (fig. 8).

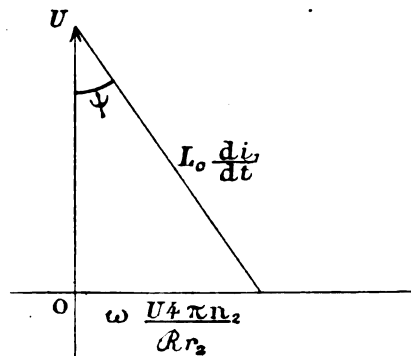


Fig. 8.

Or, par suite du dispositif du henrymètre et de la grande valeur de la self-induction L par rapport à la

self-induction à évaluer, on peut admettre, en première approximation, que la valeur du courant et sa phase ne sont pas sensiblement changées par l'apparition de quelques spires en court-circuit sur la self-induction à mesurer. Ce qui varie, c'est la tension U aux bornes de cette self-induction à mesurer.

Soit

$$u_0 = L_0 \frac{di_1}{dt}$$

la tension qui existe quand il n'y a pas de court-circuit. La tension U , à mesurer dans le cas d'un court-circuit, est égale à

$$u_1 = u_0 \cos \psi, \text{ d'après le diagramme 8,}$$

et est déphasée d'un angle ψ sur $L_0 \frac{di_1}{dt}$. D'après ce qui a été démontré précédemment, l'indication du voltmètre qui mesure la tension redressée sera proportionnelle à

$$u_1 \cos \psi = u_0 \cos^2 \psi.$$

Or, le diagramme 8 donne encore

$$\cos^2 \psi = \frac{1}{1 + \left(\frac{n_2 L_0 \omega}{n_1^2 r_2} \right)^2}.$$

La lecture de la self-induction L_0 sera donc réduite approximativement dans le rapport

$$\frac{1}{1 + \left(\frac{n_2 L_0 \omega}{n_1^2 r_2} \right)^2}, \quad (1)$$

s'il existe n_2 spires fermées sur une résistance totale r_2 . Ceci correspond en général à une très importante diminution de la self-induction apparente.

Supposons, par exemple, un circuit magnétique fermé de 4 cm² de section, longueur 20 cm, perméabilité 1500, sur lequel sont enroulées 1000 spires en fil de 50/100 mm. Ceci peut être assimilé au primaire d'un petit transformateur. Supposons une spire en court-circuit *franc* sur elle-même.

Comme on sait que $\omega = 1200$ environ et que

$$L_0 = 3,5 \text{ henry,}$$

$$r_2 = \frac{16}{100} \text{ ohm}$$

(en supposant que la spire moyenne ait 20 centimètres), on en déduit par la formule 1 que la self-induction mesurée, dans le cas du court-circuit, n'est que les 93/100 environ de la self-induction primitive L_0 .

Malgré le peu de rigueur de ce calcul, où l'on a négligé principalement les fuites, on se rend compte de

la grande facilité qu'offre l'appareil pour mettre en évidence des courts-circuits, à peu près impossible à déceler par des mesures de résistances; et ceci peut s'appliquer non seulement aux transformateurs, mais aux induits de moteurs et, en général, à tout bobinage placé sur un circuit magnétique feuilleté.

4. Mesure d'un coefficient d'induction mutuelle : Supposons que les deux circuits A et B (fig. 9) qui ont

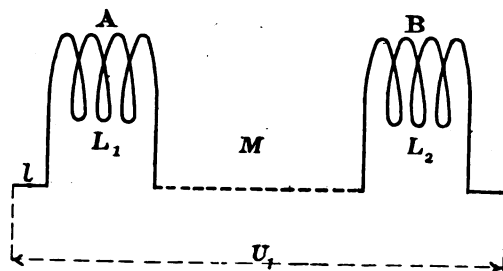


Fig. 9.

une position géométrique déterminée l'un par rapport à l'autre possèdent chacun, pris séparément, un coefficient de self-induction L_1 et L_2 . Proposons-nous de mesurer leur coefficient d'induction mutuelle M .

Connectons les deux circuits en série de façon que les flux s'ajoutent. Entre la tension u_1 , aux bornes et le courant i qui traversera les bobines, on a la relation

$$u_1 = ri + L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + 2M \frac{di}{dt},$$

ou

$$u_1 = ri + \frac{di}{dt} (L_1 + L_2 + 2M).$$

La lecture au henrymètre indiquera donc une self-induction totale

$$\lambda_1 = L_1 + L_2 + 2M.$$

Inversons les connexions entre les deux bobines, les flux se retrancheront. On voit de suite qu'une nouvelle lecture au henrymètre donnera

$$\lambda_2 = L_1 + L_2 - 2M.$$

On en déduit M

$$M = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{4}.$$

5° Mesures de flux, de réductances : Un circuit magnétique quelconque, mais feuilleté, possède un bobinage de n spires. Supposons-le parcouru par un courant I , tel qu'on en reste en deçà de la saturation. On peut connaître immédiatement le flux Φ dans ce circuit, par

une mesure préalable de la self-induction λ du bobinage. On a en effet

$$\Phi = \frac{\lambda i}{n}.$$

On peut connaître de même la réluctance \mathcal{R} du circuit

$$\mathcal{R} = \frac{4\pi n^2}{\lambda}.$$

On déduirait facilement de ces mesures l'induction B pour un courant I donné.

On pourrait multiplier les exemples d'emploi de l'appareil; il est probable que les techniciens, en particulier dans les plates-formes d'essais, en découvriront de nombreux.

De légères modifications du dispositif permettent de

concevoir un capacimètre à lecture directe, un ohmmètre indépendant de la vitesse de rotation de la

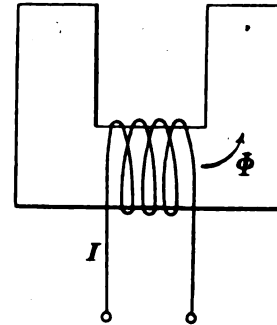


Fig. 10.

magnéto, et un tellurohmmètre, dont nous parlerons ultérieurement.

R. BARTHÉLEMY,
Ingénieur E. S. E.

Quelques remarques concernant les aimants de volume fini et les courants non linéaires

Cette note est un complément de celle publiée dans le numéro du 18 mars 1922, p. 382, sous le titre « Quelques remarques concernant les feuillets magnétiques », et constitue une nouvelle contribution à la discussion de la question « doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique » ?

Étudions le problème de l'équivalence entre aimants de volume fini et courants non linéaires.

Le champ produit par des aimants est fixé par le système d'équations

$$\text{rot } \mathcal{H} = 0, \quad (1)$$

$$\text{div } \mathcal{B} = 0, \quad (2)$$

$$\mathcal{B} = \mathcal{H} + 4\pi \mathcal{J}, \quad (3)$$

$$\mathcal{B} = \mu \mathcal{H}, \quad (3')$$

qui nous a déjà servi (1), les deux premières relations étant valables dans tout l'espace et l'une ou l'autre des relations (3) ou (3') étant valable suivant que l'on est à l'intérieur des aimants permanents (région 1) ou dans un milieu perméable (région 2). Les conditions de continuité de la composante tangentielle de \mathcal{H} et de la composante normale de \mathcal{B} à la surface de séparation peuvent s'écrire en notation vectorielle.

$$[N_1, \mathcal{H}_1] + [N_2, \mathcal{H}_2] = 0, \quad (N_1, \mathcal{B}_1) + (N_2, \mathcal{B}_2) = 0, \quad (7)$$

N est un vecteur unité porté sur la normale à la surface vers l'intérieur de la région 1 ou de la région 2 suivant l'indice. Les symboles (o) et [o] désignent des produits scalaires et vectoriels.

(1) R. G. E., 18 mars 1922, t. XI, p. 382.

Les conditions (7) peuvent se déduire des relations (1) et (2) par application de la méthode de la couche de passage. Ces conditions sont donc déjà comprises implicitement dans (1) et (2), mais il nous sera utile d'avoir ces conditions sous forme explicite.

J'élimine maintenant \mathcal{H} entre les relations écrites pour obtenir le système d'équations définissant l'induction. L'équation (2) valable dans tout l'espace subsiste sans changement. On obtient en outre le système

$$\text{Région 1} \dots \dots \dots \text{rot } \mathcal{B} = 4\pi \text{rot } \mathcal{J},$$

$$\text{Région 2} \dots \dots \dots \text{rot } \frac{\mathcal{B}}{\mu} = 0,$$

$$\text{Surface de séparation. } [N_1, \mathcal{B}_1] + \left[N_2, \frac{\mathcal{B}_2}{\mu} \right] = 4\pi [N_1, \mathcal{J}].$$

Substituons maintenant à la masse aimantée 1 une masse *non magnétique* ($\mu = 1$) traversée par des courants de densité j à l'intérieur et de densité superficielle i à la surface de séparation de 1 et 2. Aucun changement n'est apporté au milieu extérieur 2. Le champ magnétique du courant sera déterminé, en plus de la relation (2) qui reste invariable :

1° Par l'équation connue

$$\int (\mathcal{H}, ds) = 4\pi \Sigma I,$$

qu'on peut mettre sous les formes équivalentes

$$\left. \begin{array}{ll} \text{Région 1} & \text{rot } \mathcal{H} = 4\pi j, \\ \text{Région 2} & \text{rot } \mathcal{H} = 0, \\ \text{Surface de séparation.} & [N_1, \mathcal{H}_1] + [N_2, \mathcal{H}_2] = 4\pi i. \end{array} \right\} (8)$$

2° Par une des relations complémentaires

$$\text{Région 1} \dots \mathcal{B} = \mathcal{H}, \quad (3'')$$

$$\text{Région 2} \dots \mathcal{B} = \mu \mathcal{H}. \quad (3')$$

La condition (3'') remplace la condition (3) qui n'est plus valable.

Éliminant \mathcal{H} entre les cinq dernières équations, on obtient le système

$$\text{Région 1} \dots \text{rot } \mathcal{B} = 4\pi j,$$

$$\text{Région 2} \dots \text{rot } \frac{\mathcal{B}}{\mu} = 0,$$

$$\text{Surface de séparation.} \quad [N_1, \mathcal{B}_1] + \left[N_2, \frac{\mathcal{B}_2}{\mu} \right] = 4\pi i.$$

La comparaison des deux groupes de relations concernant les aimants d'une part, les courants d'autre part, montre que les systèmes d'aimants et de courants seront équivalents aux conditions suivantes

$$\text{Région 1} \dots j = \text{rot } \mathcal{H},$$

$$\text{Surface de séparation.} \quad i = [N_1, \mathcal{J}].$$

Ces deux conditions nécessaires et suffisantes d'équivalence sont indépendantes de la valeur de la perméabilité du milieu extérieur, milieu qui n'a même pas besoin d'être homogène.

Comme cas particulier, si l'on a affaire à un aimant lamellaire, $\text{rot } \mathcal{J}$ est nul, et le courant équivalent est uniquement superficiel. Particularisons davantage : pour un aimant cylindrique ayant une aimantation longitudinale uniforme, le courant superficiel équivalent est nul sur les bases et, sur la surface latérale, il est égal à \mathcal{J} comme grandeur, mais dirigé à angle droit de \mathcal{J} .

Tout cela est bien connu, mais il était nécessaire de le rappeler pour la suite.

Plusieurs observations s'imposent.

I. — L'équivalence entre aimants et courants ne concerne que l'induction. Les champs \mathcal{H} des aimants et des courants ne sont identiques que dans le milieu 2 ; dans la région 1 où \mathcal{H} a comme valeur $\mathcal{B} - 4\pi \mathcal{J}$ dans le cas des aimants et \mathcal{B} dans le cas des courants, l'identité des champs n'existe pas.

Malgré cette non-identité des champs \mathcal{H} , les actions mutuelles d'un système d'aimants et celles d'un système de courants équivalents aux aimants, ces actions, dis-je, sont équivalentes entre elles, au sens où l'on emploie en statique l'expression de forces équivalentes.

Pour l'établir, il suffit de montrer que tout déplacement (sans déformation) des aimants ou des courants équivalents donne lieu à la production d'un travail qui a même valeur dans les deux cas. Cela résulte de ce que, dans un cas comme dans l'autre, le travail est mesuré par la variation de l'intégrale

$$\int \frac{\mathcal{B}^2}{8\pi\mu} d\tau.$$

(voir par exemple, *L'Eclairage électrique*, 27 août 1898, p. 363, note, et *R. G. E.*, 26 février 1921, p. 270, in fine).

II. — La nappe de courant équivalente à un aimant droit aimanté uniformément est remplacée pratiquement, pour les expériences, par un solénoïde d'Ampère ou bobine en fil fin, à spires serrées et produisant le même nombre d'ampères-tours par unité de longueur.

La bobine peut être montée sur un noyau plein de même longueur ou laissée vide.

Dans ce dernier cas, la bobine équivalente à l'aimant dans l'air, cesserait de l'être si on opérait à l'intérieur d'un milieu perméable. En effet, nous n'avons obtenu des équations de même forme, pour déterminer l'induction d'aimants et de courants, qu'à la condition de supposer non magnétique la matière substituée à la masse de l'aimant dans la région 1. La condition est essentielle. Or si la bobine est laissée creuse, elle se remplira de matière perméable lorsqu'on la plongera dans un milieu autre que l'air. Elle cessera donc d'être équivalente à l'aimant pour lequel la substitution d'un milieu perméable à l'air ne peut s'effectuer qu'à l'extérieur du volume de l'aimant. On oublie trop souvent cette particularité que l'équivalence ne dépend pas seulement de l'intensité et de la distribution des courants substitués aux aimants, mais encore de la perméabilité de la matière qui remplit le volume occupé précédemment par l'aimant.

III. — Les considérations qui précèdent vont nous permettre de faire un retour en arrière sur le problème de l'influence de la forme des aimants sur les actions mutuelles qu'ils exercent au sein d'un milieu perméable et d'expliquer cette influence d'apparence si paradoxale.

Soient d'abord en présence deux courants linéaires ou deux nappes de courant. La substitution d'un milieu perméable à un autre, que nous supposons tous deux homogènes, peut être complète dans tout l'espace. Dans ce cas (qui sera à peu près le cas de la bobine creuse, le fil étant supposé fin), pour une intensité donnée de courants, le champ \mathcal{H} est invariable quelle que soit la perméabilité du milieu (1).

(1) Cela résulte du rapprochement des équations (8) et de la relation $\text{div } \mathcal{H} = 0$ résultant elle-même de la combinaison (2) avec l'équation $\mathcal{B} = \mu \mathcal{H}$ qui est ici valable dans tout l'espace avec μ constant.

L'induction variera donc proportionnellement à μ et il en sera de même de l'intégrale

$$\int \frac{\mathcal{B}^2}{8\pi\mu} d\tau,$$

ainsi que du travail dans un déplacement. Les forces d'attraction ou de répulsion sont proportionnelles à μ (loi de Maxwell).

Considérons en second lieu un aimant très plat aimanté normalement à ses faces ou, d'une façon plus précise, une lamelle mince d'un aimant lamellaire. Le courant équivalent se réduit à un courant i parcourant la tranche de la lamelle. Tout tube d'induction fermé sur lui-même traverse nécessairement la lamelle, mais la partie située à l'intérieur de la lamelle est peu de chose vis-à-vis du reste et, que l'on substitue à la lamelle la bobine pleine équivalente ($\mu = 1$ à l'intérieur de la lamelle) ou qu'on lui substitue la bobine creuse ($\mu = 1$), la réluctance du tube d'induction n'en est que peu modifiée et toute différence disparaît à la lamelle pour une lamelle infiniment mince, c'est-à-dire pour un feuillet. La bobine creuse est alors équivalente au même titre que la bobine pleine; d'où l'on conclut immédiatement que la loi de Maxwell est applicable à deux feuillets aussi bien qu'à deux courants.

Remplaçons enfin un des feuillets par un aimant droit de faibles dimensions transversales par rapport à sa longueur l (aiguille aimantée) et considérons la bobine D équivalente à cet aimant. Toutes les lignes d'induction passent à l'intérieur de la bobine et elles se ferment par l'extérieur où elles s'épanouissent dans tout l'espace.

L'intérieur de la bobine constitue la plus grande partie de la réluctance du circuit magnétique et le

champ est donné approximativement à l'intérieur par la formule connue

$$\mathcal{H} = \frac{4\pi NI}{2}.$$

Telle sera également la valeur de \mathcal{B} à l'intérieur de la bobine équivalente, celle-ci étant pourvue d'un noyau de perméabilité 1. Donc la valeur du flux qui parcourt la bobine est (avec une approximation d'autant plus grande que la bobine est plus étroite) indépendante du milieu extérieur. En vertu de la conservation du flux qui se répartira à l'extérieur sans changer de valeur totale, la distribution de l'induction dans le milieu extérieur homogène sera aussi indépendante de la perméabilité du milieu. Soit M le coefficient d'induction mutuelle entre la bobine D équivalente à l'aiguille aimantée et le courant équivalent au feuillet mis en présence de l'aiguille. Les considérations ci-dessus montrent que le coefficient M est indépendant de la perméabilité du milieu, puisque M/I représente le flux d'induction envoyé par la bobine D à travers la surface du feuillet. La formule connue $dT = I/I' dM$, qui est valable aussi bien pour deux courants placés dans le voisinage de substances magnétiques que pour deux courants placés dans le vide, montre alors immédiatement que les actions entre l'aiguille aimantée et le feuillet sont indépendantes de la perméabilité du milieu homogène où ils sont plongés.

La présente démonstration m'a été inspirée par une remarque de M. Chipart.

Le cas de deux aiguilles aimantées se laisse traiter moins facilement, mais ce qui précède suffit à faire comprendre comment la forme des aimants peut influencer sur leurs actions mutuelles en milieu perméable.

A. LIÉNARD.

Ingénieur en chef des Mines.

Revues, analyses et informations

Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique?

Nous reproduisons ci-dessous la suite des observations faites à ce sujet dans la séance du 3 février 1922 de la Société française de Physique, et dont nous avons publié la première partie dans le numéro de la « R. G. E. » du 18 mars 1922, p. 385.

RÉPONSE DE M. LANGEVIN AUX OBSERVATIONS PRÉCÉDENTES. — J'insiste à nouveau sur l'importance que présente, à tous les points de vue, la question actuellement discutée et sur les inconvénients de complication et de confusion qu'il y aurait à considérer les grandeurs champ et induction électriques ou magnétiques comme étant de même nature et à les mesurer par une même unité. Aux arguments déjà donnés par moi, et que je maintiens intégralement, j'en ajouterai ici de nouveaux.

M. Janet vient de rappeler que les relations fondamentales telles que les écrit M. Abraham impliquent l'identité de nature du champ électrique et de la polarisation, ce qu'il est bien difficile d'admettre au point de vue expérimental.

Dans le même sens, j'ai montré, dans ma dernière communication, que la distinction entre les grandeurs champ et induction avait un sens expérimental très précis. Dans le cas électrique par exemple, le champ peut être le même (égalité des forces exercées sur un même corps d'exploration électrisé) sans que l'induction électrique soit la même, c'est-à-dire sans que l'électrisation par influence sur un plan d'épreuve isolé ait la même densité. Cela correspond au fait immédiat que le même champ électrique entre les armatures d'un condensateur plan correspond, quand on change le diélectrique, à des densités variables d'électrisation sur ces armatures.

De manière analogue, dans le cas magnétique, la force exercée sur un élément de courant peut être la même (égalité des inductions magnétiques) sans que la densité super-

ficielle de courant soit la même sur une tige supraconductrice quelle que soit la nature de cette tige, ferromagnétique ou non, c'est-à-dire sans que les champs magnétiques soient égaux. C'est, en particulier, l'indifférence de nature du plan d'épreuve conductrice (cas électrique) ou de la tige supraconductrice (cas magnétique) qui fait l'intérêt expérimental des définitions indiquées dans ma communication pour l'induction électrique et pour le champ magnétique.

Ces définitions sont d'ailleurs les seules qui correspondent à la forme simple, valable quel que soit le système de coordonnées d'espace employé, des équations de Maxwell

$$\frac{\partial h_z}{\partial y} - \frac{\partial h_y}{\partial z} = -\frac{1}{c} \frac{\partial B_x}{\partial t}, \quad \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} = \frac{1}{c} \frac{\partial b_x}{\partial t},$$

alors que les définitions de M. Abraham conduisent à une forme inutilement compliquée. De plus, ces dernières définitions aboutissent à des conséquences absurdes, comme je le montrerai tout à l'heure quand on les applique, mutatis mutandis, à d'autres domaines de la physique.

Je suis tout à fait d'accord qu'on doit attacher la plus grande importance aux énoncés intrinsèques des lois de la physique. Leur obtention est précisément un des buts essentiels de la théorie de relativité. Il ne faut cependant pas oublier que les grandeurs tensorielles de divers ordres qui figurent dans ces énoncés exigent pour leur détermination complète la connaissance de composantes (trois pour les vecteurs d'espace polaires ou axiaux, neuf pour les tenseurs d'espace, tels que la tension élastique ou la déformation, les conductibilités électrique ou thermique, le pouvoir inducteur spécifique, la perméabilité magnétique et le coefficient de diffusion dans les substances anisotropes, etc.). De quelque manière qu'on s'y prenne, la détermination d'une force ou d'une vitesse exigera toujours la connaissance de trois données numériques.

Examinons les énoncés intrinsèques tels que ceux des lois de l'électromagnétisme :

Le travail du champ électrique le long d'un contour fermé est égal à la dérivée par rapport au temps du flux d'induction magnétique à travers ce contour.

Le travail du champ magnétique le long d'un contour est égal, dans un isolant, à la dérivée par rapport au temps du flux d'induction électrique à travers ce contour.

Ces énoncés font intervenir certaines grandeurs par leur travail (et leurs composantes covariantes); d'autres grandeurs par leur flux (et leurs composantes contrevariantes).

Il est facile de vérifier, et c'est là le sens précis du *critérium* que j'ai rappelé pour reconnaître si deux grandeurs sont ou non de même nature, que, dans tous les domaines de la physique, les grandeurs qui interviennent de ces deux manières opposées, et par conséquent dont les composantes se modifient de manières différentes par changement du système de coordonnées, sont effectivement de natures différentes.

En hydrodynamique, la vitesse intervient par son travail ou circulation le long d'un contour dans la relation qui exprime l'existence d'un potentiel des vitesses, ou, de façon plus générale, le théorème de conservation du tourbillon. Au contraire, dans l'expression du principe de conservation de la matière (ou plus exactement de l'énergie puisqu'il y a inertie de l'énergie), c'est la densité de quantité de mouvement qui intervient par son flux et non par la vitesse. Nul ne contestera qu'une vitesse et une densité de quantité de mouvement doivent être considérées comme de natures différentes. La première est un vecteur

qui intervient par ses composantes contrevariantes, comme dans tous les cas analogues. C'est le produit scalaire de ces deux éléments qui détermine la densité d'énergie cinétique du fluide.

Dans le phénomène de conductibilité thermique, il intervient un vecteur, le gradient de température dont le travail est nul par définition le long d'un contour fermé quelconque, et une densité vectorielle, le flux de chaleur par unité de surface. Ces deux éléments sont de natures différentes sans aucun doute. La loi fondamentale de Fourier introduit entre eux une relation vectorielle linéaire dont les neuf coefficients sont les composantes du tenseur de conductibilité et dont la forme est exactement celle des relations entre le champ et l'induction électriques dans les isolants, le champ et l'induction magnétiques dans les dia ou para-magnétiques, la vitesse et le flux de quantité de mouvement dans le cas d'inertie anisotrope, etc. De plus, le produit scalaire de ces deux éléments détermine la dégradation d'énergie ou l'accroissement d'entropie par unité de volume du fait de la conduction de chaleur.

Dans la conductibilité électrique interviennent le champ électrique et la densité de courant dont le flux donne l'intensité; ces deux éléments, dont nul ne contestera la différence de nature, sont liés par la relation vectorielle linéaire qui exprime la loi d'Ohm (par l'intermédiaire du tenseur de conductivité) et leur produit scalaire donne l'énergie dissipée en chaleur de Joule par unité de volume.

La diffusion fait intervenir aussi un vecteur, le gradient de concentration, et une densité vectorielle, le flux par unité de surface et par unité de temps de la substance qui diffuse. Le coefficient de diffusion dans un milieu anisotrope est le tenseur qui détermine la relation vectorielle linéaire entre ces deux éléments, de natures différentes, dont le produit scalaire caractérise encore la dégradation d'énergie, ou diminution d'énergie utilisable du fait de la diffusion.

Les grandeurs électriques et magnétiques, par la forme des relations qui existent entre elles autant que par leurs caractères individuels présentent un parallélisme évident avec toutes celles que je viens d'énumérer. Les champs et les inductions correspondent à des faits expérimentaux ainsi que je l'ai rappelé plus haut; ils ont, en général, des distributions différentes; ils satisfont à des équations dont la forme absolument invariante et simple exige que le champ électrique, par exemple, soit considéré comme un vecteur et l'induction électrique comme une densité vectorielle. Enfin, le produit scalaire du champ et de l'induction donne, dans le cas électrique comme dans le cas magnétique, la densité d'énergie par unité de volume.

Devra-t-on cependant, sous prétexte que cette habitude fâcheuse a pu s'introduire dans certains enseignements, considérer, à l'encontre du cas général, le vecteur champ et la densité vectorielle induction comme étant de même nature et pourra-t-on les définir par l'intermédiaire des actions observées dans des cavités de formes différentes ?

Il est facile de voir que des définitions analogues, introduites dans les autres domaines de la physique, conduiraient à considérer comme étant de même nature un gradient de température et un flux de chaleur, un champ électrique et une densité de courant, un gradient de concentration et un flux de matière, ou, en élasticité, une tension et une déformation.

Prenant, en effet, un couple thermoélectrique dont les deux soudures sont maintenues à petite distance fixe ou un thermomètre différentiel quelconque permettant de mesurer

le gradient de température comme une aiguille aimantée permet de mesurer le champ magnétique dans le vide, ou comme un pendule électrisé permet de mesurer le champ électrique, il suffira de passer d'une cavité allongée à une cavité aplatie dans un conducteur thermique pour mesurer le gradient de température ou le flux de chaleur. Définira-t-on ce dernier par le gradient de température dans la cavité aplatie en prenant pour unité (d'ailleurs variable avec la température), la conductibilité calorifique du vide ou de la substance étalon dont on remplira la cavité ? Une telle définition serait contraire à la nature des choses (en entendant par là la simplicité des représentations) et conduirait à des difficultés inextricables.

De même un système de deux sondes électriques isolées voisines dont la différence de potentiel mesurerait le champ électrique dans la cavité où on le placerait, donnerait, suivant la forme de cette cavité, soit le champ électrique intérieur à un conducteur (cavité allongée), soit la densité de courant (cavité aplatie).

Le gradient de concentration dans une cavité séparée du milieu par une paroi semi-perméable à la substance qui diffuse donnera soit la grandeur vectorielle gradient de concentration dans le milieu, soit le flux de substance, suivant que la cavité sera longue ou plate. En conclura-t-on à l'identité de nature des deux grandeurs et à l'utilité de les définir par ce procédé ?

Enfin dans un corps déformé élastiquement, le creusement de cavités remplies d'une substance étalon dont on mesurera exclusivement la déformation donnera, suivant la forme, soit le tenseur de déformation (cavités allongées), soit le tenseur de tension (cavités aplaties). Y a-t-il lieu d'introduire de telles définitions et de confondre les grandeurs déformation et tension dont le produit scalaire donne ici encore la densité d'énergie élastique ?

Je crois que la question se résout d'elle-même pour les cas électrique et magnétique comme pour tous les autres.

Les quatre grandeurs champ et induction électriques et magnétiques se réduisent en réalité, comme l'a montré Minkowski, dans le vide comme dans un milieu matériel quelconque, à deux seulement, dont l'une est un tenseur d'Univers à six composantes, trois d'espace (induction magnétique) et trois de temps (champ électrique), et dont l'autre est une densité tensorielle d'Univers à six composantes, trois d'espace (champ magnétique) et trois de temps (induction électrique).

Chaque aspect de la réalité physique fait ainsi intervenir deux grandeurs, en quelque sorte complémentaires, dont tous les phénomènes cités plus haut fournissent des exemples et entre lesquelles existent des relations du type de la loi de conductibilité électrique ou thermique, de la loi de diffusion, etc. La loi de gravitation donnée par M. Einstein relie de la même manière le tenseur dont les composantes sont les dix potentiels de gravitation au tenseur d'énergie et de quantité de mouvement dont la distribution caractérise la matière présente.

Je signalerai, enfin, que la conception purement mathématique introduite par M. Abraham d'un vecteur unique dont le rotationnel et la divergence sont nuls à la fois, et qui intervient dans certaines équations par ses composantes covariantes et dans d'autres par ses composantes contre-variantes, ne correspond à aucune réalité physique.

Il en est de même de l'énoncé souvent donné d'après lequel un champ de vecteur est déterminé quand on connaît son rotationnel et sa divergence.

En réalité, on se convaincra facilement que, dans toutes

les circonstances où ce théorème s'applique à une réalité physique, il concerne non pas un seul champ de vecteur, mais un champ de vecteur et un champ de densité vectorielle dont les mesures et les distributions peuvent se trouver fortuitement coïncider par suite d'un choix particulier d'unités ou de l'emploi de systèmes particuliers de coordonnées.

L'énoncé général et vraiment physique est celui-ci : *Un champ de vecteur et un champ de densité vectorielle, liés l'un à l'autre en chaque point par une relation vectorielle linéaire, sont entièrement déterminés quand on connaît le rotationnel du premier et la divergence du second.*

OBSERVATIONS DE M. POMEY. — Les explications de M. Langevin suggèrent à M. Pomey les réflexions suivantes :

On peut, si l'on veut, définir les poids comme étant des volumes d'eau. Ces volumes d'eau seraient ceux qui sont susceptibles de faire équilibre aux poids mesurés. Cette définition s'écarterait des définitions courantes : avec elle, les poids deviennent des volumes ; le poids spécifique se confond avec la densité. Maxwell a de même défini l'induction comme une grandeur mesurée par un champ ; en ce cas, μ tout en étant un nombre, comme la densité, est aussi comme elle une grandeur physique.

« Je ferai une constatation qui vient s'ajouter à toutes celles que M. Abraham a déjà faites, au sujet de la définition généralement adoptée pour B , c'est que le formulaire allemand du docteur Strecker, qui est fait avec un soin minutieux, donne, pour B et H , la même formule de dimension. Il importe donc, si l'on veut suivre M. Brylinski et conformément à sa propre remarque, que l'on commence d'abord par écarter la définition de Maxwell. Or, au début de cette discussion, j'adoptais pour définition de B celle qui résulte de l'expérience d'induction traduite par la relation

$$-\frac{dB}{dt} = \text{rot } E; \text{ ceci est contraire à la définition classique}$$

de Maxwell ; dès lors, je devais fatalement être en contradiction avec M. Abraham, car rien n'oblige plus à faire $B = H$ dans le vide.

« De même, Maxwell définit le déplacement par l'équation $D = \frac{kE}{4\pi}$ et le coefficient k est purement numérique,

car c'est le rapport des capacités de deux condensateurs, l'un à lame d'air, l'autre à lame diélectrique. Donc pour lui D et E sont de même nature ou, tout au moins, ont mêmes formules de dimension. J'avais pris pour définition de D l'action hypothétique exercée sur l'aiguille aimantée par le courant de déplacement, expérience traduite par la relation $\frac{dD}{dt} = \text{rot } \frac{H}{4\pi}$: rien alors n'impose plus de faire $D = \frac{E}{4\pi}$ dans le vide.

OBSERVATIONS DE M. ABRAHAM. — M. Abraham se demande si les définitions indiquées par M. Langevin sont essentiellement différentes de celles de Maxwell. Il semble bien, en tout cas, que l'on évitera difficilement la considération de mesures faites à l'intérieur de cavités vides (pour permettre de mesurer des forces par les déplacements des objets), et ces cavités auront précisément les formes indiquées par Kelvin et Maxwell.

M. Abraham insiste encore sur ce point qu'il ne peut pas être question de dédoubler les unités de mesure de B et de H tant que l'on conserve les définitions de Kelvin-Maxwell. Bonnes ou mauvaises (et sont-elles vraiment mauvaises ? ces définitions sont généralement adoptées (voir, par exemple, les Traités d'électricité de Bouasse, Fabry,

Jeans, Janet, Mascart et Joubert, Ollivier..., etc.). On ne pourra dédoubler les unités qu'en rejetant définitivement ces définitions pour en adopter qui soient différentes. Mais il faudra alors, de toute nécessité, créer des *noms nouveaux* pour les grandeurs dont on aura ainsi défini de nouveaux procédés de mesure, si l'on ne veut pas introduire dans la science électrique une série de confusions intolérables.

EXPOSÉ DE M. POMEY CONCERNANT LA DÉFINITION DE L'INDUCTION MAGNÉTIQUE. — Les observations de M. Langevin et de M. Janet m'ont amené à revoir la définition à donner de l'induction magnétique et de l'intensité d'aimantation.

Comme l'a montré M. Langevin, il convient de faire un choix judicieux entre les définitions : il ne suffit pas qu'elles permettent une mesure ; autrement, on pourrait représenter les forces par des volumes, et c'est justement ce qui arrive quand on emploie le même mot tonne, soit pour désigner un poids, soit pour désigner une capacité. La définition de l'induction qui, d'après M. Abraham, est encore la plus répandue et qui remonte à Maxwell est de nature à engendrer une confusion du même ordre.

Il convient donc de reprendre les définitions.

En les reprenant, on aura l'avantage de satisfaire au sens du physicien qui se refuse à voir dans l'intensité d'aimantation une grandeur de même nature que le champ et ayant la même formule de dimension. M. Janet a fait l'observation très judicieuse que le champ d'un côté et le moment magnétique de l'autre correspondaient à deux investigations expérimentales distinctes et irréductibles.

Je crois, comme M. Hadamard, que la question ne peut pas se trancher d'un mot et qu'il est nécessaire d'indiquer au moins sommairement l'enchaînement des idées, pour éviter tout malentendu. En ce qui me concerne, je m'excuse de revenir sur des choses très anciennes. C'est la nature du problème qui le nécessite.

Je veux donner l'expérience de définition du champ qui me paraît devoir être adoptée, puis celle de l'induction et ensuite rappeler comment on peut de ces deux données expérimentales déduire l'intensité d'aimantation et le moment magnétique.

Pour le champ magnétique, tout le monde est d'accord. Il se mesure par le couple directeur exercé sur la petite aiguille d'épreuve. C'est l'action directrice sur un petit aimant qui est le phénomène fondamental.

A l'intérieur de l'aimant, on creuse une cavité allongée, mais il faut faire des tâtonnements, pour que l'axe de la cavité soit dirigé suivant la direction du champ. J'ai indiqué, il y a de longues années, qu'il suffit de faire trois expériences dans trois directions rectangulaires quelconques. On aura les composantes suivant l'axe H_1 , H_2 , H_3 et le vecteur H sera défini comme leur résultante. Je n'insiste pas sur la légitimation de ce procédé ; elle repose sur le fait expérimental de l'existence d'un potentiel.

Pour l'induction magnétique, j'estime nécessaire de recourir au phénomène de l'induction. Le déplacement d'un petit élément de fil conducteur, dans un champ magnétique, engendre une force électromotrice. C'est cette force électromotrice à laquelle l'induction sera proportionnelle.

A l'intérieur d'un aimant, il faut creuser une cavité entre deux faces parallèles. Des tâtonnements seraient nécessaires pour trouver l'orientation du plan moyen qui correspondrait à l'effet maximum. Mais il suffit de faire trois expériences dans des plans formant un trièdre trirectangle. On peut représenter les résultats par les vecteurs axiaux perpendiculaires : soient B_1 , B_2 , B_3 les trois vecteurs. L'induction magnétique B est le vecteur axial qui a B_1 , B_2 , B_3 pour compo-

santes. La justification de cette définition est donnée par le fait expérimental que la distribution du vecteur B est solénoïdale.

Maintenant, il reste à définir I , l'intensité d'aimantation. Or, l'expérience montre que l'on a dans le vide

$$B = \mu_0 H$$

et que, dans un aimant, on a

$$B = \mu H,$$

μ étant différent de μ_0 . Ces relations doivent être considérées comme résultant de la comparaison des mesures de B et de H qui sont basées sur des phénomènes différents.

La différence des valeurs de μ_0 et de μ va servir à définir I .

A cet effet, j'envisage spécialement le vecteur H et, puisqu'il s'agit d'arriver à la conception des masses magnétiques qui formeront le moment magnétique $I d\sigma$, ($d\sigma$ étant l'élément de volume), je recourrai au théorème de Vaschy ; ce théorème donne, en effet, les valeurs des masses newtoniennes et laplaciennes fictives qui produiraient le champ envisagé.

Ces masses sont réparties dans le volume du champ avec des densités représentées au facteur 4π près par la divergence et le rotationnel. Il y a aussi des masses superficielles situées, soit sur les surfaces de discontinuité, soit sur la surface qui limite le champ considéré.

Il nous suffit d'envisager un aimant et l'on peut supposer que le champ s'étende jusqu'à l'infini où il devient nul. Alors, la seule surface à envisager est celle de l'aimant, qui est une surface de discontinuité.

Or le vecteur H dérive d'un potentiel et sa composante tangentielle est continue à la surface de l'aimant : d'après le théorème de Vaschy, cela indique l'absence de masses agissant suivant la loi de Laplace.

Il reste donc à considérer les masses agissant suivant la loi de Newton.

Je poserai alors, vectoriellement,

$$I = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{B - \mu_0 H}{\mu_0} \quad \text{ou} \quad B = \mu_0 (H + 4\pi I).$$

Ce vecteur I est nul en dehors de l'aimant, puisqu'alors on y a $B = \mu_0 H$, il est donc propre à caractériser l'état d'aimantation. Revenons maintenant à nos masses.

Les masses newtoniennes dont la densité par unité de volume est $\frac{1}{4\pi}$ multiplié par la divergence de H s'exprimeront, d'après la formule ci-dessus, en fonction de la divergence de B , qui est nulle, et de celle de I . D'où

$$\rho = -\frac{d\omega I}{\mu_0}.$$

Les masses newtoniennes superficielles σ sont égales à $\frac{1}{4\pi}$ multiplié par la discontinuité normale de H ; or celle-ci s'exprime, toujours en vertu de la même formule, au moyen de la discontinuité normale de B qui est nulle, à cause de la distribution solénoïdale et de la discontinuité normale de I .

Mais comme I est nul, hors de l'aimant, il reste

$$\sigma = -\frac{1}{\mu_0} I_n$$

I_n étant la composante normale de I .

Une transformation analytique simple donne alors

$$V = \frac{1}{\mu_0} \int (IV) \frac{4}{r} d\omega \quad \left(V \equiv \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

laquelle montre que $I d\omega$ est le moment magnétique élémentaire; on pourra décomposer ce moment en deux composantes, l'une d'aimantation permanente, l'autre d'aimantation induite. J'arrive ainsi au moment magnétique considéré comme produisant un champ; son assimilation avec le moment magnétique dont on a doté l'aiguille d'épreuve et qui la caractérise comme subissant l'action d'un champ résulte de l'application, sur laquelle je n'insiste pas, du principe de l'égalité de l'action et de la réaction.

Je crois que de cette manière H , B et I reçoivent des définitions expérimentales logiques et cohérentes.

Un régulateur de tension automatique ⁽¹⁾.

I. — L'objet du montage ci-dessous est de permettre de maintenir entre deux points d'un circuit une tension constante à 0,2 pour 100 près, alors qu'on dispose uniquement d'un réseau où la tension V peut varier de 5 pour 100 en plus ou en moins.

On utilise une sorte de pont de Wheatstone déséquilibré, représenté par la figure ci-jointe: L est le circuit aux

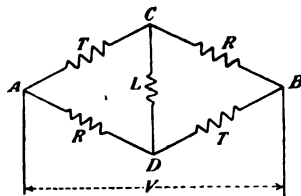


Fig. 1.

bornes duquel on veut avoir une tension constante, R et R sont deux résistances égales constantes; T et T sont deux résistances égales constituées par des lampes au tungstène, dont la conductance varie en sens inverse du courant qui les traverse.

Pour la tension moyenne V entre A et B , les chutes de tension V_1 entre A et C , V_2 entre C et B , et v entre C et D , sont telles que :

$$\begin{aligned} V_1 &= T(I + i), \\ V_2 &= RI, \\ v &= Li = 2(V_1 - V_2), \end{aligned}$$

en appelant i le courant traversant la branche CB .

Faisons varier V de ΔV et supposons que la tension entre C et D reste constante. V_1 et V_2 varient de ΔV_1 et ΔV_2 tels que

$$\begin{aligned} V_1 + \Delta V_1 &= (T + \Delta T)(I + \Delta I + i), \\ V_2 + \Delta V_2 &= R(I + \Delta I) \\ \Delta V_2 - \Delta V_1 &= 0, \end{aligned}$$

D'où

$$\frac{\Delta T}{\Delta I} = \frac{R - T}{T + i}.$$

Mais pour les lampes au tungstène on a sensiblement

$$\frac{\Delta T}{\Delta I} = \frac{2}{3} \frac{T}{I};$$

done :

$$\frac{R - T}{T + i} = \frac{2}{3} \frac{T}{I}.$$

Si on se donne les courants I , i et la résistance T , l'équation précédente détermine la valeur R de la résistance fixe qui assure la constance de la tension entre C et D .

L'expérience vérifie entièrement ces prévisions.

On peut même, pour assurer une meilleure régulation, remplacer la résistance constante R par des lampes à filament de carbone dont le coefficient de température est négatif. Dans un montage de ce genre, on a trouvé :

$$\begin{aligned} I &= 220 & 240 & 260 \\ r &= 68,0 & 68,2 & 67,9. \end{aligned}$$

II. — Le montage précédent exige que l'on puisse disposer d'une puissance environ quarante fois supérieure à celle qui est dépensée dans le circuit L ; en revanche, il dispense de l'emploi d'une batterie d'accumulateurs coûteux et d'un entretien délicat.

Il convient de noter qu'un dispositif analogue avait déjà été préconisé par Campbell [*Proc. Inst. El. Eng.*, 1901, t. xxx, p. 889]; mais cet auteur employait, à la place des lampes au tungstène, des résistances de nickel qui devaient être maintenues dans une enceinte à température constante; dans le montage actuel, au contraire, la haute température des filaments de tungstène incandescent rend la résistance de ceux-ci pratiquement indépendante de la température ambiante. — A. F.

Mesure des écarts par rapport à la loi d'Ohm dans les métaux soumis à de fortes densités de courant ⁽¹⁾.

Les théories électriques conduisent toutes à prévoir l'existence d'écarts par rapport à la loi d'Ohm quand on atteint de fortes densités de courant. Toutes les tentatives faites pour mettre ces écarts en évidence et, en particulier, celle de Maxwell sont restées vaines. La difficulté résulte du fait suivant : une grande densité de courant chauffe le métal et fait varier sa résistance. Il faut éliminer l'effet de cette variation et pour cela l'auteur a employé l'ingénieux procédé suivant : dans la pièce métallique à étudier qui forme la branche d'un pont, on fait passer simultanément un très fort courant continu et un faible courant alternatif; la mesure à l'aide d'un téléphone de la résistance opposée par la branche du pont au courant alternatif permet de contrôler pour chaque valeur du courant continu la variation de cette résistance. Il faut encore éliminer, en employant des fréquences différentes pour le courant alternatif et en extrapolant un effet « microphonique » dû au passage du fort courant continu à travers la résistance très légèrement variable pendant chaque alternance du bras métallique. Les expériences ont porté sur de très minces films d'or ou d'argent déposés à la surface d'une pièce de verre. Pour des densités de courant de 100 A/cm², on observe un accroissement de la résistance. Ces résultats semblent indiquer, d'après l'auteur, l'existence dans le métal d'un nombre d'électrons moins élevé et possédant un libre parcours plus grand que ne le suppose la théorie électronique classique. Ceci expliquerait l'augmentation de l'effet observé avec l'accroissement d'épaisseur du film employé. — D. B.

⁽¹⁾ F.-G.-H. LEWIS. *Proceedings Phys. Soc. London*, 15 décembre 1921, t. xxxiv, p. 17-21, 3000 mots, 3 fig. 2 tab.

⁽¹⁾ P.-W. BRIDGMAN. *Proc. Nat. Acad. Sc.*, 1921, t. vii, p. 299-303.

SECTION INDUSTRIELLE

Description et fonctionnement du système « train despatching » de la Western Electric Company

Dans un précédent article ⁽¹⁾, M. Casamassima décrivait les diverses méthodes utilisées pour la direction du mouvement des trains par les compagnies de chemins de fer américaines. Il donnait en détail la description des appareils téléphoniques employés à cette époque, appareils qui utilisaient des sélecteurs à courant continu construits par la Western Electric Company. Depuis, le « train despatching system » a été appliqué en France sur les différents réseaux d'intérêt général, mais avec des appareils plus perfectionnés basés sur l'emploi de courants alternés pour actionner les sélecteurs. Ce sont ces nouveaux appareils qui sont décrits ci-dessous.

I. Principe de fonctionnement. — Une ligne téléphonique à deux fils, commune à toutes les gares de la ligne de chemin de fer, est reliée, en un point quelconque de son parcours, à un poste principal où se tient en permanence le chef du mouvement des trains ou régulateur (despatcher). Celui-ci, au moyen d'un jeu de clés convenablement disposées, peut, à sa volonté, appeler l'un quelconque des postes de station sans déranger les autres et entrer en relation téléphonique avec lui pour lui transmettre ses ordres ou recevoir ses renseignements.

Le « chef du mouvement » est, normalement, constamment en écoute sur la ligne commune, de telle sorte qu'il suffit de se porter à un poste pour être en relation téléphonique avec lui. Lorsque le trafic ne justifie pas ce mode d'exploitation, il suffit de prévoir, au poste principal, une sonnerie polarisée et d'ajouter une magnéto à chaque poste de station. Le chef du mouvement peut, dans ce cas, ne se porter en écoute que lorsque le fonctionnement de la sonnerie en question lui indique qu'une station l'appelle.

Au poste principal se trouve placé un tableau comportant autant de clés qu'il y a de stations desservies. Chacune de ces clés est disposée pour envoyer sur la ligne, lorsqu'elle est manœuvrée par le chef de mouvement, un certain nombre d'impulsions de courant fournies par une batterie d'appel commune placée au poste principal. Chaque poste de station comporte, comme organe essentiel, un sélecteur sur lequel agissent les impulsions de courant envoyées par le poste principal, lors de la manœuvre d'une clé. Tous les sélecteurs de la ligne fonctionnent en même temps, mais seul celui auquel correspond la clé mise en action ferme au poste de station le circuit d'une sonnerie locale et provoque ainsi l'appel de la station désirée.

Les émissions de courant envoyées sur la ligne par la manœuvre des clés sont alternativement positives et

négatives et elles n'agissent sur les sélecteurs qu'à travers un condensateur ; il en résulte que le débit de la batterie d'appel du poste principal est extrêmement faible et, par suite, cette batterie a une longue durée. La batterie d'appel, dont la tension doit être comprise entre 100 et 350 v, suivant la longueur de la ligne et le nombre de stations, peut être constituée soit par des accumulateurs de faible capacité, soit par une batterie de piles sèches. Les accumulateurs présentent l'avantage d'une longue durée, ce qui fait qu'ils sont beaucoup plus économiques que les piles, et leur constance est beaucoup plus grande.

La figure 1 donne le schéma général du circuit.

II. Description des appareils et des circuits. —

POSTE DE CHEF DU MOUVEMENT. APPAREILS D'APPEL DU POSTE PRINCIPAL. — La figure 2 est une photographie d'un poste de chef du mouvement. Tous les appareils du poste principal, montrés sur le schéma, sont groupés dans une armoire unique (fig. 3) à l'exception des batteries de piles ou d'accumulateurs et des clés de sélection. Ces dernières sont disposées dans un tableau, en nombre égal au nombre des stations. Le tableau (fig. 5) pouvant se placer sur le bureau du chef du mouvement, toutes les clés sont à portée de sa main. Le chef du mouvement actionne les clés en tournant la manette d'un quart de tour, ce qui a pour effet d'armer le grand ressort d'un mouvement d'horlogerie simplifié. Dès que la clé est lâchée, ce mouvement d'horlogerie fait tourner une roue dentée qui, pour chaque appel, fait un tour complet. Les dents de cette roue, convenablement groupées par le jeu d'un ou de deux secteurs déplaçables, viennent en contact avec un jeu de ressorts qui a pour but d'actionner les deux relais de connexion et d'inversion et d'envoyer sur la ligne téléphonique un certain nombre d'émissions de courant destinées à agir sur tous les sélecteurs des postes de station reliés à la ligne.

Le but du relais de connexion est de relier à la ligne

(1) *Revue générale de l'Electricité* du 7 juillet 1917.

les organes d'appel du poste principal. Les mouvements du relais inverseur envoient sur la ligne des impulsions de courant alternées.

Le relais de connexion reste actionné pendant tout le mouvement de retour de la clé d'appel à sa position de repos, mettant en permanence la ligne en connexion avec le relais inverseur. Le circuit du relais de connexion est fermé par le contact du ressort mobile et la masse de la roue dentée de la clé de sélection. Ce

relais reste actionné tant que la clé est en mouvement. A chaque passage du plein d'une dent en face du ressort, le circuit du relais inverseur est fermé par un contact entre le ressort mobile et le ressort extérieur et il se trouve ouvert ensuite dès que le ressort mobile passe devant le creux suivant, provoquant ainsi l'envoi des impulsions alternées.

Dans chaque série d'appareils, le nombre total d'impulsions alternées envoyé sur la ligne reste toujours le

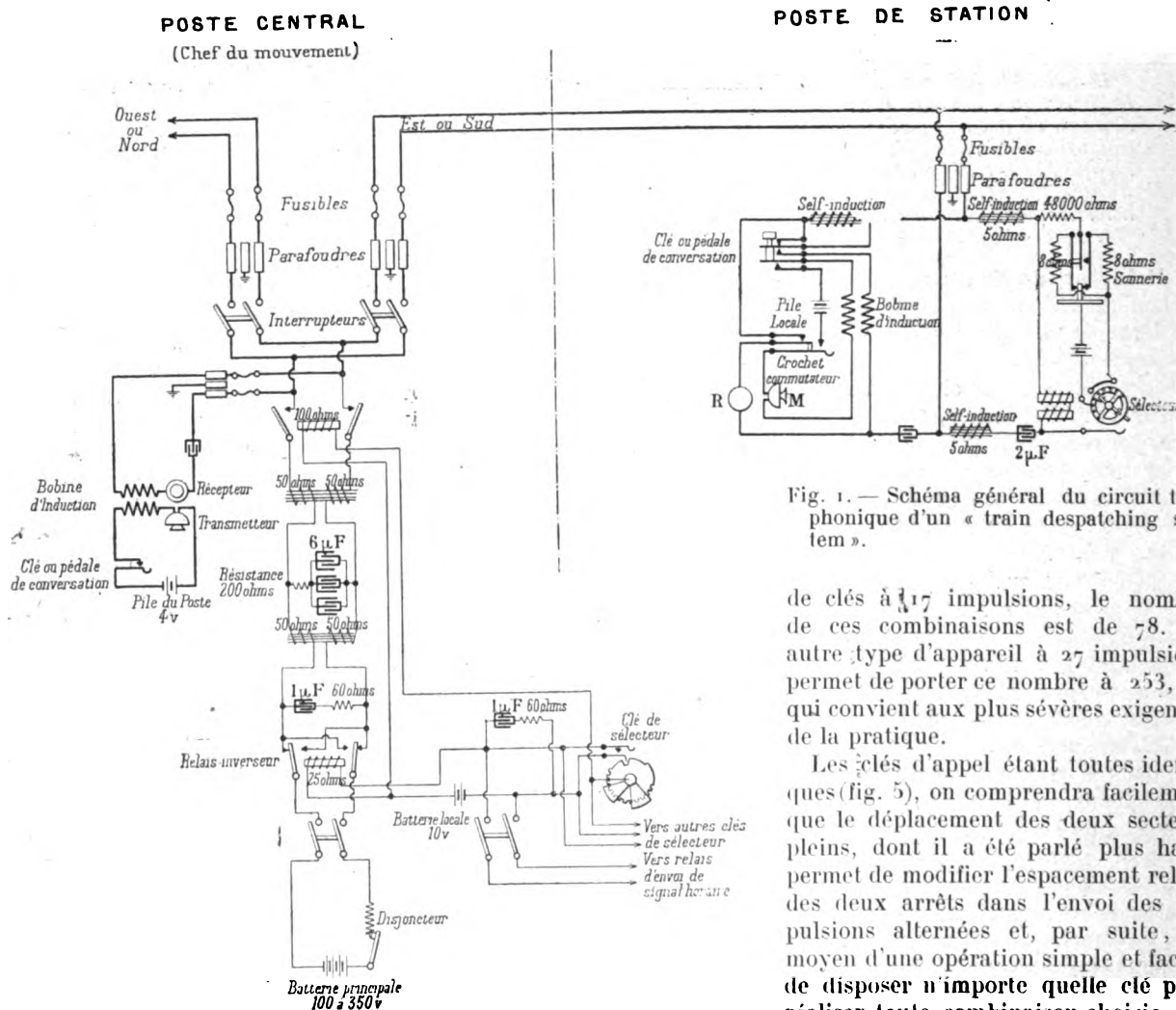


Fig. 1. — Schéma général du circuit téléphonique d'un « train despatching system ».

de clés à 17 impulsions, le nombre de ces combinaisons est de 78. Un autre type d'appareil à 27 impulsions permet de porter ce nombre à 253, ce qui convient aux plus sévères exigences de la pratique.

Les clés d'appel étant toutes identiques (fig. 5), on comprendra facilement que le déplacement des deux secteurs pleins, dont il a été parlé plus haut, permet de modifier l'espacement relatif des deux arrêts dans l'envoi des impulsions alternées et, par suite, au moyen d'une opération simple et facile, de disposer n'importe quelle clé pour réaliser toute combinaison choisie.

Les secteurs pleins ayant pour objet de maintenir pendant un certain temps le relais inverseur dans la position qu'il occupait après l'envoi du train d'impulsions alternées précédent, on conçoit donc que la construction de ces secteurs différera lorsque ce nombre d'impulsions précédent est pair, auquel cas le relais doit rester actionné pendant le passage du secteur plein ou impair, auquel cas, au contraire, il doit rester au repos.

A cet effet, il existe deux sortes de secteurs pleins. L'un d'eux, secteur plat, a un profil étudié pour maintenir fermé le contact entre les ressorts ; l'extérieur de

même. Le système le plus courant utilise 17 impulsions.

Des secteurs pleins, convenablement placés sur le profil de la roue dentée, permettent d'envoyer ces impulsions en observant une certaine cadence, par exemple : 12 impulsions, arrêt ; 3 impulsions, arrêt ; 2 impulsions.

Ou bien : 6 impulsions, arrêt ; 4 impulsions, arrêt ; 7 impulsions, etc..., etc...

On obtient ainsi un certain nombre de combinaisons possibles qui déterminent combien de stations peuvent être desservies sur la même ligne. Avec le système

ce secteur couvre un certain nombre de dents en empêchant pendant tout son passage le ressort mobile de redescendre dans les espaces séparant les dents. C'est celui qui se place après une série impaire d'impulsions; l'autre, secteur recourbé, est disposé de telle sorte qu'il laisse le ressort mobile continuer son mouvement, et éloigne le deuxième contact, pendant la durée

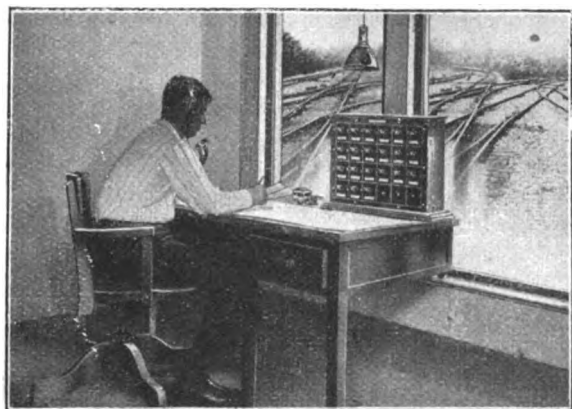


Fig. 2. — Poste de chef du mouvement.

de son passage. Le contact entre les ressorts reste donc ouvert et le relais inverseur ne fonctionne pas. Le secteur recourbé s'emploie après un total pair d'impulsions.

Chaque clé est un organe indépendant qui peut être mis et enlevé très rapidement du tableau par la manœuvre d'un simple verrou.

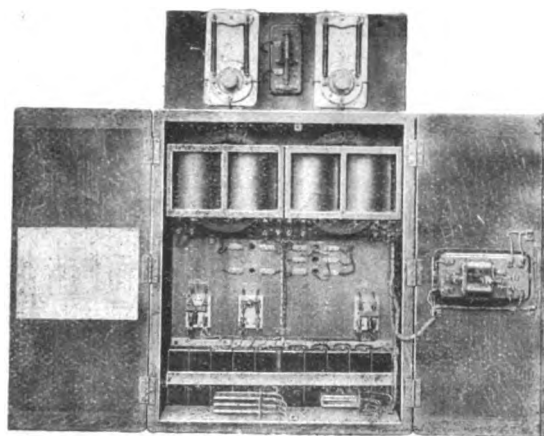


Fig. 3. — Armoire d'appareillage d'appel.

Le circuit des organes d'appel du poste principal est complété par une combinaison de résistances, condensateurs et bobines de self-induction. Ces divers organes ont pour but de diminuer les étincelles de rupture aux contacts des différents relais et d'adoucir les émissions de courant d'appel, de façon que celles-ci ne causent pas de claquements intolérables dans le récepteur du

chef du mouvement qui est constamment en écoute sur la ligne. Les appels peuvent donc être envoyés même

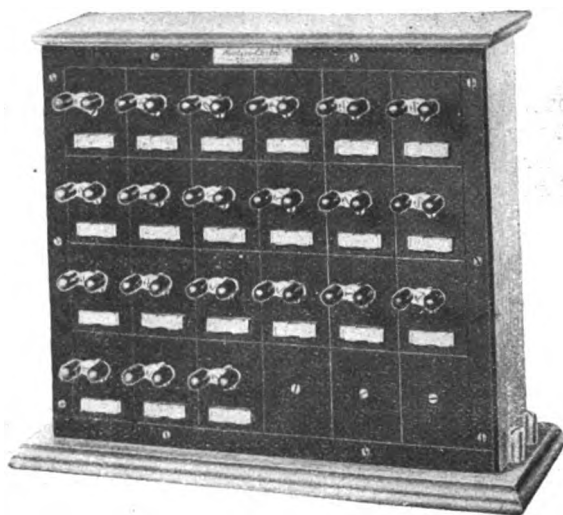


Fig. 4. — Boîte à clés de sélection.

au cours d'une conversation sans créer des bruits susceptibles de la troubler.

Il est ainsi possible au chef du mouvement d'appeler une

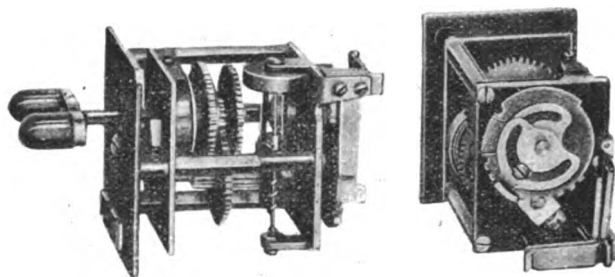


Fig. 5. — Clé d'appel.

station pendant qu'il est en conversation avec une autre.

Un dispositif, qui sera décrit plus loin, permet au chef du mouvement de percevoir les signaux d'appel

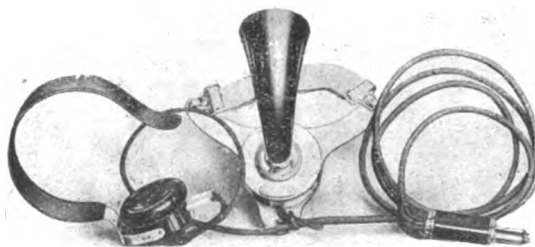


Fig. 6. — Microphone plastron et récepteur serre-tête pour poste principal.

envoyés sur la ligne et de contrôler ainsi que la sonnerie du poste appelé a bien fonctionné,

APPAREILS TÉLÉPHONIQUE DU POSTE PRINCIPAL. — Le chef du mouvement est généralement pourvu d'un microphone-plastron et d'un récepteur serre-tête (fig. 6). Une bobine d'induction, un condensateur et une batterie de piles, ou mieux d'accumulateurs complètent l'appareil qui est analogue à un poste à pile locale de microphone. Un commutateur, constitué soit par une clé, soit par une pédale actionnée au pied, permet de ne fermer le circuit du microphone que pendant la conversation, afin d'éviter une consommation de courant inutile.

III. Poste de station. — APPAREILS D'APPEL. — Comme le montre la photographie de la figure 7, l'ins-

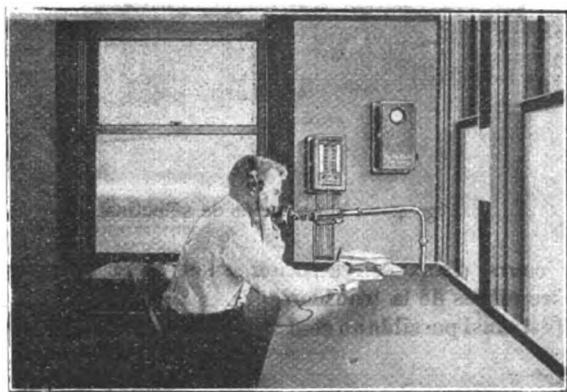


Fig. 7. — Poste de station.

tallation d'un poste de station est très simple. Les appareils d'appel sont rassemblés dans une même ébénisterie (fig. 8). Ils comprennent deux bobines de self-induction, un condensateur, une sonnerie spéciale alimentée par une pile locale et une résistance. L'ensemble est complété par le sélecteur qui constitue l'organe important de l'appareil.

La description mécanique complète du sélecteur sortirait du cadre de cette notice. Il se com-

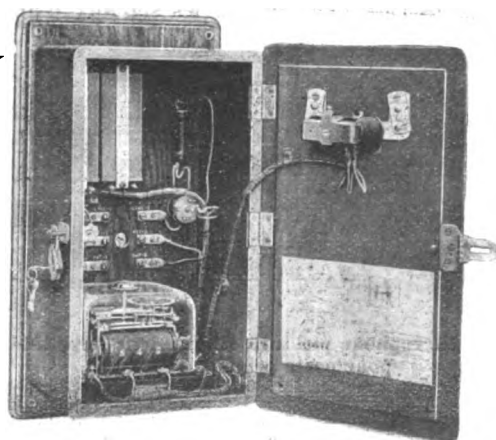


Fig. 8. — Poste à sélecteur (ouvert).

pose essentiellement d'un électro-aimant polarisé d'une résistance de 15 000 ohms, connecté en dérivation sur la ligne à travers un condensateur. La figure 9 donne une vue d'ensemble de l'appareil.

Suivant la polarité de l'émission de courant de la batterie d'appel, l'armature de cet électro-aimant pivote dans un sens ou dans l'autre; l'armature actionne, par l'intermédiaire de leviers convenablement disposés, un jeu de cliquets d'arrêt et d'avancement qui font tourner une roue dentée en avançant celle-ci d'une dent à chaque mouvement de l'armature. Les leviers sont combinés pour que le mouvement de la roue dentée soit toujours de même sens, quel que soit le sens d'attraction de l'armature.

La roue dentée entraîne, dans son mouvement, une roue légère, dite roue-code, percée de trous uniformément espacés dans lesquels on peut placer, en des points donnés, trois petites chevilles. Dans la figure 9, la roue-code est visible à la partie supérieure de l'appareil. Dans une certaine position, les chevilles peuvent venir s'engager dans le cran d'un ressort d'arrêt, réalisant ainsi l'immobilisation de la roue-code jusqu'à l'envoi du prochain train d'impulsions. Lorsque l'armature du sélecteur se trouve dans sa position de repos, les cliquets d'arrêt et d'avancement sont dégagés et la roue-code tend à revenir à sa position initiale sous l'action d'un ressort antagoniste. Mais le mouvement de retour est lent et, comme les impulsions qui font basculer l'armature se suivent rapidement, la roue n'a pas le temps de faire son mouvement en arrière et elle continue à avancer d'un nombre de dents égal à celui des impulsions envoyées sans arrêt.

L'emplacement des chevilles dans la roue-code correspond à la combinaison d'appel prévue pour le poste intéressé (5-4-8 dans la figure 9).

Les émissions de courant envoyées sur la ligne actionnent les sélecteurs de toutes les stations qui

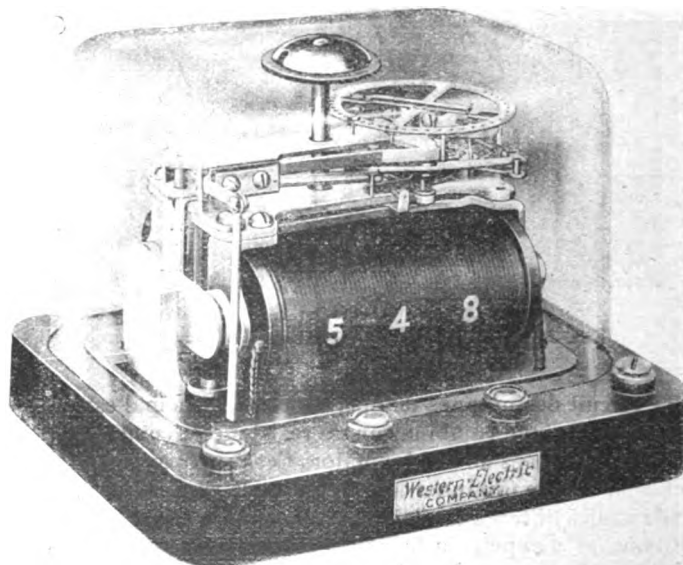


Fig. 9. — Sélecteur.

avancent tous en même temps. En supposant que le nombre d'impulsions envoyées pendant la première série soit de 5, tous les sélecteurs avancent de cinq pas. Les sélecteurs disposés pour une combinaison comportant un premier chiffre 5 se trouvent à ce moment placés de telle façon que la première cheville soit engagée dans le cran du ressort d'arrêt, et, de ce fait, ils sont maintenus dans cette position pendant la durée de l'arrêt. Au contraire, tous les autres sélecteurs reviennent au repos par l'effet du ressort antagoniste.

La deuxième série d'impulsions est alors envoyée (4 impulsions dans l'exemple choisi). Tous les sélecteurs avancent de quatre pas et tous ceux qui avaient été maintenus au premier envoi continuent leur avance. Au bout de ces quatre impulsions, le sélecteur 5-4-8 se trouve avoir sa seconde cheville placée dans le cran du ressort d'arrêt et il est maintenu dans la position 9 (5-4). Comme il n'y a qu'une seule combinaison commençant par 5-4, les autres sélecteurs qui s'étaient arrêtés après la première série reviennent au repos. Le troisième train de huit impulsions est alors envoyé et le sélecteur 5-4-8 complète son mouvement et s'arrête, sa troisième cheville s'enclenchant dans cette position avec le ressort d'arrêt.

Le circuit de la sonnerie locale est fermé lorsque la roue-code a avancé d'un total de 17 pas. On voit donc qu'un seul sélecteur dans tout le système aura fermé le circuit de sa sonnerie et qu'un seul poste sera appelé.

Pendant l'envoi du second ou du troisième train d'impulsions, il arrive que certains sélecteurs possédant une combinaison correspondant à l'un des chiffres d'impulsions envoyé peuvent être momentanément maintenus arrêtés (par exemple, tous ceux ayant 4 comme premier chiffre restent accrochés après l'envoi de la deuxième série ou ceux qui ont le chiffre 8 après l'envoi de la troisième série), mais un seul obéit aux 17 impulsions et fait un mouvement complet; c'est celui dont la combinaison correspond exactement à celle de la clé actionnée par le chef de mouvement.

Le temps nécessaire pour un appel est celui que met la clé de sélection à faire un tour complet, soit sept secondes dans le système à 17 impulsions. La sonnerie du poste appelé fonctionne pendant deux secondes.

La sonnerie est du type à courant continu; elle est disposée pour ouvrir et fermer un contact qui connecte à la ligne de façon intermittente le circuit de la sonnerie d'appel à travers une résistance de 48 000 ohms et un condensateur de 2 p. f. De ce fait, un ronflement est entendu dans le récepteur du chef du mouvement qui contrôle ainsi que la sonnerie a bien fonctionné.

Une même batterie sert dans les postes de station pour alimenter la sonnerie et le microphone.

Les sélecteurs ont une impédance très élevée qui correspond pour la fréquence des courants téléphoniques à 1 mégohm environ, de telle sorte que, quel que soit le nombre des postes placés en dérivation, les trans-

missions téléphoniques restent toujours excellentes.

Les sélecteurs fonctionnent dans de très larges limites de tensions (de 50 à 350 v); il n'y a aucun réglage à faire aux postes de station, car la batterie d'appel est calculée pour le poste le plus éloigné.

APPAREIL TÉLÉPHONIQUE D'UN POSTE DE STATION. — Les circuits ne diffèrent d'un poste normal à batterie locale que par le fait qu'un condensateur doit être intercalé dans le circuit du récepteur, de façon à éviter



Fig. 10.
Commutateur au pied.

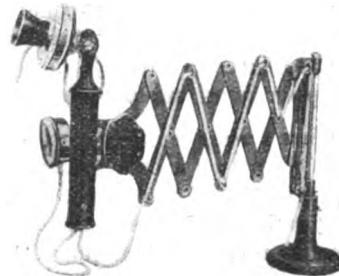


Fig. 11. — Téléphone de station.
(Type sur bras extensible).

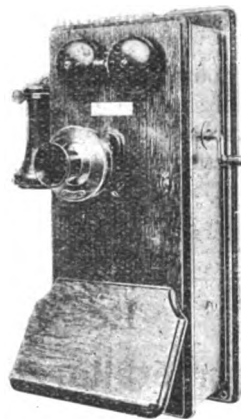


Fig. 12.
Téléphone de station
(Type mural).

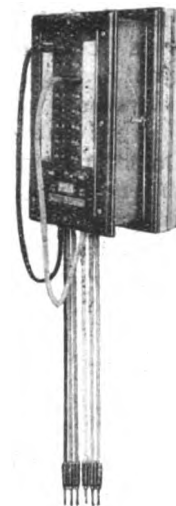


Fig. 13.
Boîte d'essais
et de contrôle.

que les courants d'appel soient affaiblis par la dérivation d'un poste dont le récepteur serait décroché.

Quand le nombre de postes est assez grand et qu'il y a lieu de prévoir l'envoi d'ordres généraux pouvant amener un certain nombre d'appareils à être en même temps en écoute, on prévoit un circuit téléphonique spécial dit « à haute efficacité ».

L'appareil comporte alors une clé spéciale manœuvrée à la main ou une pédale actionnée au pied (fig. 10). Cette clé étant au repos, lorsqu'on décroche l'appareil pour écouter, le récepteur se trouve branché en dérivation.

vation sur la ligne à travers un condensateur. La bobine d'induction et le microphone du poste de station sont hors circuit; on est ainsi dans la meilleure position pour écouter.

Lorsque, au contraire, on veut parler du poste de station, il faut manœuvrer la clé ou la pédale. La bobine d'induction se trouve intercalée, la pile microphonique se ferme sur le transmetteur, en même temps qu'une bobine de self-induction se trouve mise en série avec le récepteur. Ce montage donne une forte transmission et permet néanmoins d'entendre si, pendant que le poste transmet son message, le chef de mouvement fait une observation.

Les figures 11 et 12 donnent deux types d'appareils téléphoniques employés aux postes de station.

BOÎTE À JACKS D'UN POSTE DE STATION. — Il est avantageux de placer à un certain nombre de postes de station une boîte à jacks avec cordons et fiches à laquelle sont reliées toutes les lignes aboutissant à la station et les appareils téléphoniques de celles-ci (fig. 13). Cette boîte à jacks facilite les essais de la ligne et permet de faire les combinaisons voulues entre les tronçons de lignes pour rétablir, en cas de dérangement, la ligne principale, en utilisant des lignes secondaires dont on suspend momentanément l'utilisation.

IV. Résumé des avantages du nouveau système à courants alternés. — Le système employant des sélecteurs à courants alternés présente, sur les systèmes utilisant des courants continus, les avantages suivants :

- 1° Grande robustesse des nouveaux appareils assurant un service prolongé des organes;
- 2° Suppression des résistances de réglage aux postes de station, les sélecteurs fonctionnant dans une très grande limite de tension (50 à 350 v);

3° Inutilité de repérer les fils de ligne;

4° Facilité d'adjonction ou de suppression de postes de station sans avoir rien à modifier aux autres;

5° Appel possible de toutes les stations à la fois par la manœuvre d'une clé unique;

6° Possibilité d'essai facile des lignes, sans toucher aux appareils, les dérivations à chaque poste étant faites à travers un condensateur;

7° Le poste de chef de mouvement peut être installé en un point quelconque de la ligne. Si cela est nécessaire, deux ou plusieurs postes principaux peuvent être installés sur une même ligne;

8° Les sélecteurs sont protégés contre l'humidité.

9° Les courants alternatifs normaux n'agissent pas sur les sélecteurs;

10° Haute impédance des sélecteurs (1 000 000 ohms aux fréquences téléphoniques), ce qui permet d'en avoir un grand nombre sur la ligne sans nuire aux conversations.

Conclusion. — Les résultats des essais du « train despatching system », faits depuis 1920 sur tous les grands réseaux français ont dépassé les prévisions. Le nouveau mode d'exploitation qui permet au chef de mouvement, grâce aux appareils à sélecteurs, de rester constamment en contact avec le personnel des diverses stations de la ligne, a de beaucoup amélioré la circulation des trains sur les secteurs où il a été employé. Il a permis de compenser rapidement par les économies réalisées, les dépenses d'équipement des circuits et les frais supplémentaires d'exploitation (1).

Il n'est pas douteux que dans un avenir rapproché toutes les lignes à grand trafic seront exploitées par le Despatching System.

H. FLORANT,
Ingénieur E. P. C.

Les fours électriques et l'électrométallurgie d'après les brevets récents

Dans cette première partie ne sont analysés que des brevets revendiquant des perfectionnements de caractère à peu près général, applicables à tous les fours quelle que soit leur destination spéciale et quel que soit leur principe, à induction, à résistance, etc. Par exemple, certains inventeurs cherchent à régler automatiquement la puissance fournie, à stabiliser l'arc par une commande appropriée de l'électrode; d'autres ont amélioré la construction du creuset, ou de la voûte des fours, problèmes dont le succès dépend d'ailleurs de la bonne fabrication des matériaux réfractaires.

Généralités sur les fours électriques. — Le four électrique C.-B. FOLY (1) est du type à induction. Un des modèles est représenté en coupes en élévation dans les figures 1 et 2, cette dernière étant une coupe perpendiculaire de la figure 1. Le creuset est constitué

par une enveloppe 13 en métal et par une garniture intérieure 14, la première étant fendue en 15 pour éviter les courants induits. La partie cylindrique creuse 17 est en matière réfractaire. Entre l'extérieur

(1) Fours électro-thermiques à induction. Brevet français n° 502 803, demandé le 27 avril 1916, délivré le 27 février 1920, publié le 27 mai 1920, 446 lignes, 10 figures.

(1) Voir à ce sujet le remarquable rapport de MM. Narps et Beal, inspecteurs principaux de la Compagnie du P.-L.-M., publié dans la *Revue générale des Chemins de fer*, de juillet 1921.

de ce cylindre 20' et le fond du creuset existe un petit espace 22. Le cylindre de support intérieur 23 en tôle est fendu en 24 pour éviter les courants induits. Le circuit magnétique 26 est fermé par l'armature mobile 28. Une des branches est entourée de la bobine 27.

Avec ces dispositifs, la matière en traitement est mieux protégée que dans les fours ordinaires à induc-

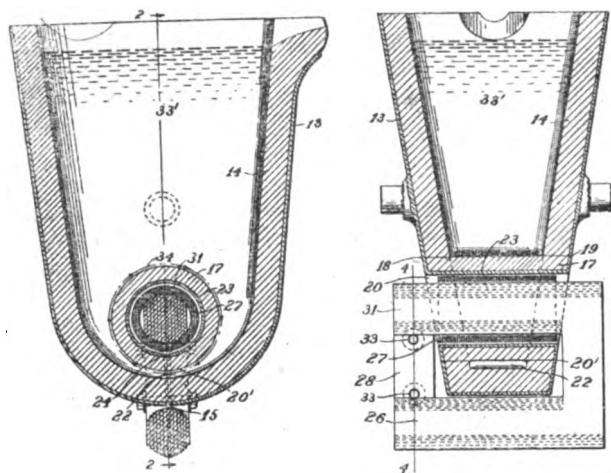


Fig. 1 et 2. — Coupes d'un four dont le creuset est protégé contre les pertes de chaleur.

tion contre les pertes de chaleur, la zone de chaleur la plus intense est vers le fond et le plus loin possible du contact avec l'atmosphère, la circulation de la matière fondue est rendue plus active. L'effet de pincement qui rompt le circuit secondaire dans les fours annulaires à induction ne se produit pas ici, même pour de fortes densités de courant, à cause de la forte charge hydrostatique du métal fondu.

Le four électrique E.-M. CHOPIN ⁽¹⁾ est particulièrement construit en vue des analyses de combustibles. C'est un four à résistance réglable permettant d'obtenir les températures nécessaires aux différentes déterminations : teneur en humidité, teneur en matières volatiles et teneur en cendres et permettant aussi de soustraire ou de soumettre à volonté les échantillons à l'action oxydante de l'air.

Pour la fabrication des aciers et pour l'affinage des métaux en général, il est nécessaire de pouvoir, au moins pendant une partie de l'opération, continuer le chauffage en évitant le contact des électrodes avec la masse en fusion.

Le four électrique L.-A.-Y. FERRON ⁽²⁾ établi dans ce

⁽¹⁾ Four électrique d'analyses. *Brevet français n° 506 934*, demandé le 5 septembre 1918, délivré le 10 juin 1920, publié le 1^{er} septembre 1920, 107 lignes, une figure.

⁽²⁾ Perfectionnements aux fours électriques. *Brevet français n° 499 315*, demandé le 22 octobre 1918, délivré le 15 novembre 1919, publié le 7 février 1920, 120 lignes, 5 figures.

but comporte un dispositif permettant de réaliser le chauffage par arc jaillissant entre les électrodes et les matières à traiter ou bien le chauffage par rayonnement des arcs jaillissant entre deux ou plusieurs électrodes non en contact avec les matières à chauffer. Ce dispositif est réalisé à l'aide d'un système de manches à eau formant rotules et permettant une inclinaison quelconque des électrodes par rapport à leur position verticale. Le guidage et le mouvement des électrodes sont assurés par un système de porte-électrodes dans lequel une articulation permet à chaque guide de prendre une inclinaison quelconque sur sa position verticale, les guides des porte-électrodes et les manches à eau ayant le même axe d'oscillation. Chaque position est assurée par un mécanisme à vis tangente irréversible.

Le four électrique W.-E. MOORE ⁽¹⁾ est un four basculant dans lequel le laboratoire a un fond sphérique recouvert d'un revêtement réfractaire comprenant plusieurs couches et renfermant des bandes conductrices à travers ces couches. Le fond du laboratoire est composé d'une couche de matière réfractaire granulaire et peu conductrice ; sous celle-ci se trouve une couche de matière granulaire ou amorphe meilleure conductrice que la première, puis une enveloppe métallique recouverte à son tour d'une couche granulaire conductrice. Un revêtement en maçonnerie réfractaire est situé entre la deuxième couche et cette enveloppe et ses bandes métalliques partant de l'enveloppe traversent la maçonnerie et les différentes couches. Les guides d'électrodes montés sur le ciel du four présentent des moyens pour obturer automatiquement l'espace entre ce guide et l'électrode et sont refroidis par circulation d'eau. Le bras d'électrode est muni d'un collier de serrage d'électrode en trois pièces à refroidissement d'eau dont deux sont articulées sur la troisième fixée sur le bras d'électrode. Celui-ci, supporté par une colonne, s'étend perpendiculairement au plan de basculement ; il peut être levé ou abaissé à l'aide de câbles passant dans la colonne, et de poulies. Ce mouvement se fait par l'intermédiaire d'un coulisseau isolé du bras. Ce bras embrasse le coulisseau afin de neutraliser la self-induction due à la colonne et au coulisseau. Le transformateur est situé à côté du four, dans le plan vertical renfermant l'axe de basculement et les câbles qui en partent sont maintenus au-dessus de ce transformateur par une attache située dans l'axe de basculement d'où ils se dirigent vers les serre-câbles des bras d'électrodes.

Le four électrique C.-F. GREINER ⁽²⁾ est un four à résistance dont l'élément de chauffage est monté en

⁽¹⁾ Perfectionnements aux fours électriques. *Brevet français n° 500 955*, demandé le 5 mars 1919, délivré le 13 janvier 1920, publié le 30 mars 1920, 744 lignes, 19 figures.

⁽²⁾ Four électrique. *Brevet français n° 508 545*, demandé le 11 mars 1919, délivré le 27 juillet 1920, publié le 14 octobre 1920, 129 lignes, une figure.

vase clos pour supprimer son oxydation. Cet élément de chauffage comprend un tube en quartz fondu sur lequel on enroule le nombre voulu de spires de fil de nichrome (alliage de nickel 86 pour 100, chrome 12 à 13 pour 100, fer et manganèse 2 pour 100 maximum). Après avoir recouvert l'enroulement d'un enduit spécial, on introduit ce tube dans un autre également en quartz fondu et de diamètre un peu plus grand. L'espace libre entre les deux tubes est garni d'une matière inerte desséchée à fond. Les tubes de quartz sont scellés à leurs extrémités avec un lut spécial.

L'élément de chauffage ainsi constitué est supporté dans le milieu du four par des supports en quartz et des rondelles réfractaires. Le four lui-même est entouré d'un calorifuge en fibres d'amiante. On peut obtenir une température de 1200° C avec le fil de nichrome. Au-dessus de cette température, il faudrait employer un fil de platine.

Dans les fours électriques, il est important de pouvoir régler automatiquement la puissance fournie et, d'autre part, de pouvoir à volonté marcher à puissance réduite à de certaines phases de l'opération (ce qui se présente par exemple dans la fabrication de l'acier).

C.-C. Gow ⁽¹⁾ parvient à ce résultat à l'aide du dispositif représenté schématiquement en figure 3. Le primaire 2 du transformateur 1 est traversé par tout ou

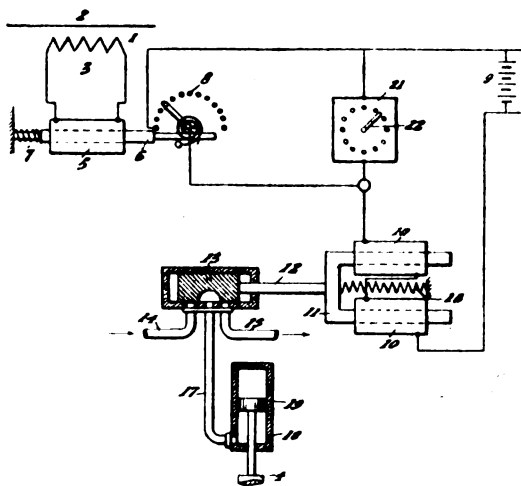


Fig. 3. — Schéma d'une installation pour le réglage automatique de la puissance fournie à un four électrique.

partie du courant principal amené à l'électrode mobile 4. Le secondaire 3 excite un solénoïde 5 dont le noyau plongeur 6 est attiré vers la gauche à l'encontre d'un ressort 7 suivant l'intensité du courant. Le noyau 6 règle par une résistance 8 l'intensité dans un circuit indépendant alimenté par une batterie 9 et com-

prenant un solénoïde 10 dont le noyau plongeur 11 est relié à la tige 12 d'un tiroir 13 qui dans sa position normale ferme une admission 14 venant d'une source de pression fluide (huile, eau ou air comprimé) et ferme aussi une sortie d'évacuation 15. Si le courant s'élève dans le transformateur 1 au-dessus de la valeur déterminée à l'avance, le noyau 6 est déplacé vers la gauche et augmente la résistance 8. Le solénoïde 10 est moins fortement excité et le tiroir 13 est déplacé vers la gauche par un ressort 16 pour ouvrir l'admission 14 et amener la pression du fluide par un tuyau 17 à un cylindre 18 de façon à soulever un piston 19 et avec lui l'électrode mobile 4. Si, au contraire, le courant dans le transformateur 1 tombe au-dessous de la valeur déterminée à l'avance, la résistance 8 diminue, le tiroir 13 est déplacé vers la droite, l'admission 14 reste fermée et le fluide contenu dans le cylindre 18 est évacué par la sortie 15, le piston 19 descendant par le poids de l'électrode. Une résistance variable 21 est montée en parallèle avec la résistance 8 et est réglée à la main, ce qui permet de régler à volonté le mouvement de l'électrode 4 indépendamment du courant traversant le transformateur 1.

Le four électrique de la SOCIÉTÉ ARMOUR FERTILIZER WORKS ⁽¹⁾ utilise les courants polyphasés et comprend des électrodes en contact avec la matière sous forme de briquettes, celles-ci étant séparées par un corps infusible (charbon, par exemple), plus conducteur que les briquettes elles-mêmes. Une des électrodes peut être tubulaire et renfermer la matière et les autres électrodes.

Le four électrique J. LALLEMENT ⁽²⁾ est un four à résistance dont la partie supérieure comporte un certain nombre de dalles isolantes et réfractaires traversées par des conducteurs qui supportent les boudins de chauffage suspendus au-dessous des dalles. Ces dalles sont amovibles et interchangeables, de façon à faciliter la réparation et la visite du four.

Le four électrique de la SOCIÉTÉ THE MORGAN CRUCIBLE COMPANY ⁽³⁾ comprend un creuset composé d'une matière constituant elle-même le conducteur traversé par le courant. Ce creuset, disposé sous forme de cuvette circulaire, est fabriqué à l'aide d'un mélange de graphite et d'argile. Il comporte trois prolongements latéraux servant de prises de courant et reliés aux trois conducteurs d'amenée d'un courant alternatif triphasé; un refroidissement par circulation d'eau est prévu autour des bornes de prises de courant.

⁽¹⁾ Fours électriques à courant polyphasé. *Brevet français n° 498 564*, demandé le 23 avril 1919, délivré le 22 octobre 1919, publié le 15 janvier 1920, 204 lignes, 4 figures.

⁽²⁾ Four électrique à résistance. *Brevet français n° 499 461*, demandé le 13 mai 1919, délivré le 19 novembre 1919, publié le 12 février 1920, 71 lignes, 5 figures.

⁽³⁾ Perfectionnements aux fours électriques. *Brevet français n° 500 555*, demandé le 7 juin 1919, délivré le 24 décembre 1919, publié le 17 mars 1920, 137 lignes, 6 figures.

⁽¹⁾ Perfectionnements apportés au réglage de la puissance absorbée dans les fours électriques. *Brevet français n° 498 462*, demandé le 17 avril 1919, délivré le 20 octobre 1919, publié le 13 janvier 1920, 300 lignes, 5 figures.

Un tel four peut servir à la fusion des métaux (acier, laiton, or, argent, etc.) ou du verre.

Lorsque, dans un four électrique, l'arc est automatiquement réglé par un mécanisme actionné par le courant induit dans le secondaire d'un transformateur en série avec l'arc, il arrive que l'électrode est souvent avancée au delà de la limite nécessaire. Le dispositif employé par J. BIBBY ⁽¹⁾ évite cet inconvénient.

Comme il est représenté en figure 4, le mécanisme actionnant l'électrode A pour régler l'arc A' est commandé par un transformateur B dont le primaire B'

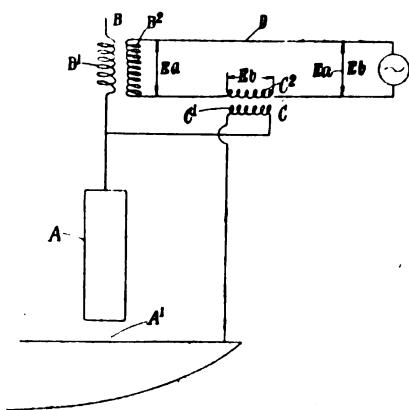


Fig. 4. — Montage pour le réglage simultané de l'arc et de l'électrode d'un four à arc.

est dans le circuit de l'électrode. Un autre transformateur C a son primaire C' en dérivation sur l'arc A'. Les enroulements secondaires B² et C² de ces deux transformateurs sont placés en série dans le circuit D de réglage de l'arc, de manière que leurs tensions E_a et E_b sont en opposition. Dans ces conditions, si l'électrode A est au-dessus de la matière du four, le transformateur B permettra à cette électrode d'avancer automatiquement jusqu'à formation de l'arc. D'autre part, dès que l'électrode vient en contact avec la matière, la résistance se trouve réduite et la tension E_b du transformateur C diminue. Il en résulte une augmentation correspondante de la tension effective du transformateur en série. L'électrode est alors soulevée et l'arc est automatiquement rétabli. Au moyen de résistances appropriées, on peut adapter le système de réglage aux exigences d'un four donné.

Le four électrique E. PIQUEREZ ⁽²⁾ est caractérisé par l'emploi de conducteurs (charbon ou tungstène) contenus dans des tubes de quartz et situés dans la chambre du four au-dessus de l'espace destiné à rece-

voir la charge. On fait circuler dans ces tubes un courant d'azote pour rendre neutre l'atmosphère et obtenir l'incandescence sans combustion du charbon.

Dans le four précédent, E. PIQUEREZ ⁽¹⁾ modifie les conducteurs de charbon, de manière à n'avoir pas à refroidir les amenées de courant. Pour cela, la section de ces conducteurs est plus grande aux extrémités et ces parties renforcées sont métallisées extérieurement afin d'augmenter la conductibilité. On protège de la chaleur cette métallisation en la recouvrant d'une couche d'émail à point de fusion élevé.

Le four électrique M. BRUGBILLES ⁽²⁾ est un four à résistance qui comporte une partie amovible couissant librement dans une première enveloppe sur laquelle viennent se fixer élastiquement les bornes devant se connecter automatiquement avec celles des éléments chauffants. Cette enveloppe est entourée d'une autre formant le cadre de l'appareil et portant les bornes d'amenée du courant.

Le four électrique A. EIMER ⁽³⁾ est un four à résistance caractérisé par l'emploi d'unités calorifiques composées de plaques réfractaires (alumine, magnésie, zircone, silice, porcelaine, quartz, etc.), dont une des faces possède des cannelures dans lesquelles on loge le fil constituant la résistance électrique. La face opposée des plaques réfractaires est plane et lisse. Suivant les cas, les faces à cannelures ou les faces lisses sont tournées vers l'intérieur du four.

Le four électrique E.-L. SMOLLY ⁽⁴⁾ est un four à résistance. Celle-ci affecte la forme d'un gros fil qui se loge dans les cannelures d'un support en matière réfractaire et isolante.

Le prix de revient du travail au four électrique dépend surtout, d'une part, de la durée du revêtement réfractaire du four et de sa voûte et, d'autre part, de la consommation d'énergie électrique. Ces deux facteurs sont déterminés par la forme de la chambre du four. Au lieu de la forme rectangulaire ou circulaire donnée jusqu'ici aux fours à arc, MAX R. TREMBOUR ⁽⁵⁾ adopte une forme ellipsoïdale aussi bien dans le sens

⁽¹⁾ Résistance pour four électrique. *Brevet français* n° 501539, demandé le 9 juillet 1919, délivré le 29 janvier 1920, publié le 16 avril 1920, 57 lignes.

⁽²⁾ Four électrique. *Brevet français* n° 503407, demandé le 12 août 1919, délivré le 8 mars 1920, publié le 3 juin 1920, 89 lignes, 4 figures.

⁽³⁾ Perfectionnements relatifs aux fours électriques. *Brevet français* n° 505200, demandé le 16 septembre 1919, délivré le 30 avril 1920, publié le 24 juillet 1920, 247 lignes, 7 figures.

⁽⁴⁾ Perfectionnements relatifs aux fours électriques. *Brevet français* n° 503914, demandé le 16 septembre 1919, délivré le 27 mars 1920, publié le 21 juin 1920, 226 lignes, 10 figures.

⁽⁵⁾ Perfectionnements aux fours électriques à arc. *Brevet français* n° 505360, demandé le 24 octobre 1919, délivré le 4 mai 1920, publié le 29 juillet 1920, 205 lignes, 9 figures.

⁽¹⁾ Perfectionnements apportés aux fours électriques à arc. *Brevet français* n° 500879, demandé le 20 juin 1919, délivré le 9 janvier 1920, publié le 25 mars 1920, 129 lignes, 1 figure.

⁽²⁾ Four électrique pour la métallurgie. *Brevet français* n° 501537, demandé le 9 juillet 1919, délivré le 29 janvier 1920, publié le 16 avril 1920, 95 lignes, 2 figures.

ongitudinal que dans le sens transversal; les électrodes sont disposées suivant le grand axe. C'est ainsi qu'on réalise la surface minimum des parois par rapport à la capacité de fusion du four, en empêchant les pertes de chaleur par rayonnement et en assurant une répartition uniforme de la chaleur, la chaleur maximum étant produite au point de la plus grande profondeur de métal en fusion. Les portes de chargement et de déchargement sont placées aux deux extrémités du grand axe.

Le four électrique E. LAGUESSE ⁽¹⁾ est caractérisé par la forme annulaire de l'électrode supérieure. Comme l'indique la figure 5 représentant une coupe verticale, le four se compose d'un massif de maçonnerie 1 dont

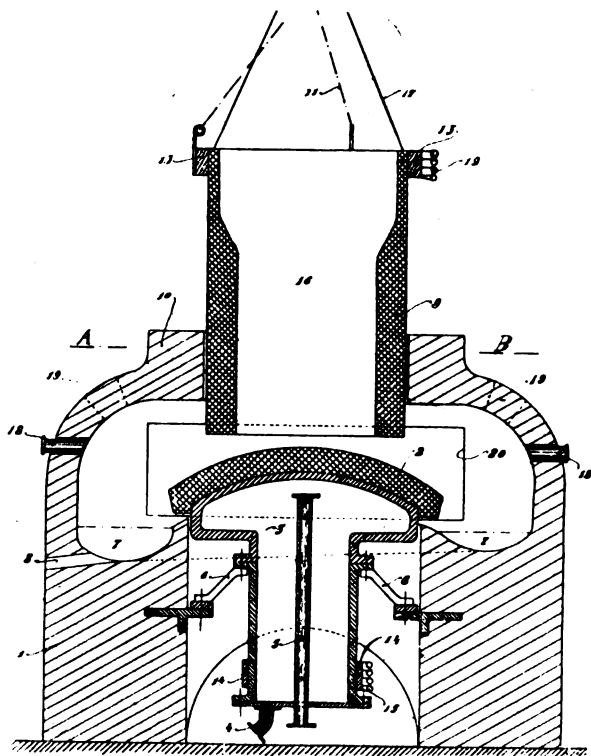


Fig. 5. — Four électrique à électrode supérieure annulaire.

la partie centrale est occupée par l'électrode 2 en forme de calotte sphérique et reposant sur une chambre 3 à circulation d'eau. Celle-ci arrive par le raccord 4 et s'échappe par le conduit 5. La chambre 3 est supportée par les consoles 6 fixées au massif 1. L'électrode 2 est entourée par le bassin de coulée 7 circulaire et incliné vers le trou de coulée 8. L'électrode supérieure 9, de forme annulaire, traverse la voûte 10 et est suspendue par un dispositif 11. Le courant est

⁽¹⁾ Four électrique. *Brevet français* n° 505 903, demandé le 10 novembre 1919, délivré le 17 mai 1920, publié le 10 août 1920, 107 lignes, 2 figures.

amené par les câbles 12 et le collier 13 de l'électrode positive, le retour s'effectuant par le collier 14 de l'électrode négative et par les câbles 15.

On charge les matières (minerais, copeaux ou tournures de fonte ou d'acier) par la partie centrale 16 de l'électrode 9, de sorte que ces matières doivent traverser l'arc annulaire jaillissant entre 9 et 2 sur toute la circonférence avant d'atteindre le bassin 7. La marche est ainsi continue et les gaz provenant des réactions chimiques peuvent être captés par l'installation au-dessus de 9 d'un dispositif de récupération 17. Des regards 18 sont ménagés pour permettre l'examen chimique et physique du produit recueilli dans 7. Les ouvertures 19 servent à l'adjonction éventuelle de certaines matières dans le bassin 7. La porte de visite 20 facilite les réfections à l'électrode 2. La forme annulaire de l'électrode 9 lui donne une durée plus longue parce que la dilatation est égale et régulière. Sa partie supérieure est amincie pour diminuer la perte en poids d'électrode lors de son remplacement.

Pour de nombreuses opérations électrométallurgiques, il est nécessaire d'employer une tension élevée et d'intercaler une réactance considérable au début de l'opération, tandis que la fin de celle-ci nécessite une tension plus réduite. C'est ce qui arrive, par exemple, dans la fabrication de l'acier où une tension élevée et une grande réactance sont nécessaires pendant la fusion alors que la résistance du circuit peut varier très brusquement. Au contraire, pendant l'affinage une basse tension et une faible réactance sont préférables.

Pour réaliser ces conditions, D.-F. CAMPBELL ⁽¹⁾ utilise un commutateur permettant de passer d'un couplage en étoile à un couplage en triangle. La figure 6 représente le cas où ce commutateur est monté sur le côté basse

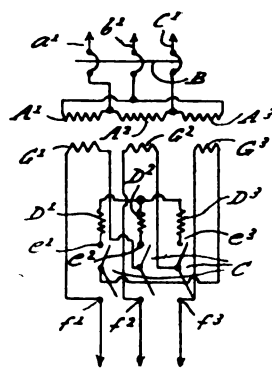


Fig. 6. — Schéma des connexions pour le passage d'un couplage en étoile à un couplage en triangle

tension. Les conducteurs a_1 , b_1 , c_1 sont reliés par un interrupteur principal à huile B aux enroulements primaires A_1 , A_2 , A_3 du transformateur qui sont disposés

⁽¹⁾ Perfectionnements aux fours électriques. *Brevet français* n° 506 509, demandé le 24 novembre 1919, délivré le 31 mai 1920, publié le 24 août 1920, 116 lignes, 2 fig.

en triangle dans la figure mais peuvent être montés en étoile. Lorsque les branches supérieures du permuteur C s'engagent avec les bornes e_1 , e_2 , e_3 , les enroulements secondaires G_1 , G_2 , G_3 du transformateur sont couplés en étoile et les bobines de réactance D_1 , D_2 , D_3 sont intercalées dans les enroulements respectifs. Lorsque les branches inférieures du permuteur s'engagent avec les bornes f_1 , f_2 , f_3 , les enroulements secondaires sont couplés en triangle et les bobines de réactance sont hors circuit.

Le four électrique oscillant de la SOCIÉTÉ MÉTALLURGIQUE DU FRAYOL ⁽¹⁾ est caractérisé par le remplacement de la voûte en matières réfractaires ordinairement utilisée par un bloc de graphite dont on peut faire varier la hauteur de façon à modifier le volume de la chambre de travail. On a ainsi une voûte presque inusable et facile à remplacer presque sans arrêt du four. Les électrodes d'amenée de courant sont inclinées et ne traversent pas la voûte. Le four possède des plaques polaires latérales montées en parallèle avec la plaque polaire du fond permettant ainsi de faire varier le régime électrique du four en cours d'opération par simples oscillations du four lui-même.

Le four électrique de BOOTH ELECTRIC FURNACE Co ⁽²⁾ est un four rotatif. Son enveloppe en acier repose sur des galets isolés, une paire de ceux-ci étant actionnée par un moteur. Ces galets roulent sur des voies de rou-

lement isolées entourant le four à chaque extrémité et reliés par des sabots à la source de courant. A chaque extrémité du four, les électrodes traversent axialement celui-ci; leur monture tourne avec le four et des conducteurs flexibles les retiennent aux voies de roulement. Une des électrodes est montée sur une porte dont l'ouverture sert pour la charge.

BOOTH ELECTRIC FURNACE Co ⁽¹⁾ a aussi imaginé un dispositif de porte de four électrique. Le porte-électrode monté sur la porte peut se déplacer et basculer, le déplacement se réalisant sur un guide formant prolongement de la porte. La pince d'électrode se déplace sur le guide au moyen d'une roue à main actionnant un pignon et une crémaillère. Quand le porte-électrode arrive à fin de course de cette crémaillère, il peut être basculé, placé verticalement et fixé par un dispositif d'accrochage. L'électrode est reliée automatiquement à la source d'énergie électrique par la simple manœuvre de la porte, le pivot de celle-ci comportant un commutateur et un conducteur flexible reliant celui-ci à la pince de l'électrode.

La porte est montée de manière à démasquer entièrement l'ouverture pratiquée dans le four et à se placer hors du chemin, une circulation d'eau de refroidissement étant prévue quelle que soit la position occupée par la porte.

(A suivre.)

L. JUMAU.

Revue, analyses et informations

Perfectionnements aux dispositifs d'imprégnation des câbles électriques isolés au papier ⁽³⁾.

Les tensions d'exploitation de plus en plus élevées en usage actuellement nécessitent des épaisseurs d'isolant importantes. On a reconnu que les court-circuits étaient souvent occasionnés par une mauvaise imprégnation du câble.

Pour l'améliorer, on imprègne le câble à des pressions de plus en plus fortes dans des cuves autoclaves, ce qui permet de chauffer moins l'enduit qui, devenant plus visqueux, s'écoule moins facilement en dehors du câble dans la série des manutentions qu'on lui fait subir dans ses transports jusqu'à son arrivée derrière la presse à plomb. Pourtant, malgré toutes les précautions prises pour avoir une bonne imprégnation et éviter les plis du papier, les câbles ne peuvent pas supporter une tension supérieure à 13 000 v par millimètre d'épaisseur d'isolant au lieu de 45 000 v qui devrait être obtenue.

Les dispositifs et procédés suivants ont été pris dans le brevet de M. Risler, pour augmenter cette faible tension de claquage et remédier ainsi aux inconvénients des procédés actuels d'imprégnation des câbles.

⁽¹⁾ Four électrique oscillant. *Brevet français n° 508 211*, demandé le 7 janvier 1920, délivré le 19 juillet 1920, publié le 5 octobre 1920, 208 lignes, 2 fig.

⁽²⁾ Perfectionnements aux fours électriques. *Brevet français n° 508 691*, demandé le 16 janvier 1920, délivré le 31 juillet 1920, publié le 20 octobre 1920, 385 lignes, 9 fig.

⁽³⁾ Gustave RISLER. *Brevet français n° 154 690*, déposé le 24 janvier 1922.

On assure une bonne imprégnation du câble au moment même de sa mise sous plomb en s'arrangeant en sorte que ce soit dans un bain d'enduit sous pression que le câble s'engage dans le tube de plomb qui se forme dans la presse.

On maintiendra le câble immergé dans un bain d'enduit pendant toutes ses manipulations depuis sa première imprégnation en autoclave, jusqu'à sa mise sous plomb de manière à éviter tout essorage du câble de façon à conserver sa bonne imprégnation.

Pendant les arrêts inévitables de la presse, on enveloppera la partie du câble sortant de la cuve placée derrière la presse d'une gaine démontable constituée par deux coquilles réunies par des boulons. Par une extrémité, la gaine plonge dans l'enduit de la cuve; une tubulure permet de faire un vide relatif pour aspirer l'enduit de la cuve qui baignera le câble à l'intérieur de la gaine.

De nombreux dispositifs peuvent être employés. On en a représenté un schématiquement sur la figure 1, dans le cas de l'imprégnation par corbeille. La corbeille dans laquelle est enroulé le câble à imprégner comporte une double enveloppe. L'enveloppe intérieure 1 est percée d'ouverture 4 pour permettre à l'enduit de circuler librement d'une corbeille dans l'autre, l'enveloppe extérieure 2 étant munie d'ouvertures 5 que l'on peut fermer à volonté à l'aide de clapets 6.

Pendant l'opération de l'imprégnation du câble, les orifices 5 sont ouverts et fermés pendant le transport de la

⁽¹⁾ Perfectionnements aux portes de fours électriques. *Brevet français n° 509 035*, demandé le 17 janvier 1920, délivré le 7 août 1920, publié le 29 octobre 1920, 325 lignes, 4 fig.

corbeille d'une cuve à une autre. De la cuve placée derrière la presse, le câble se déroule pour être mis sous plomb.

Avant de s'engager dans la presse à plomb, il passe dans

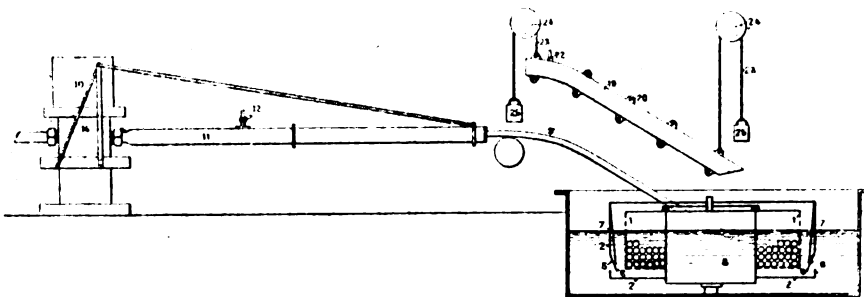


Fig. 1.

une chambre 11 supportée par la presse et alimentée d'enduit sous pression par une tubulure 12. La chambre est reliée à la vis de retenue 15 du poinçon 16 de la presse à

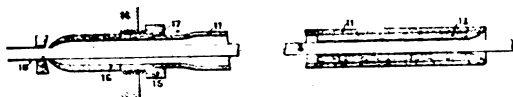


Fig. 2.

plomb. Le câble se trouvera donc baigné ainsi dans l'enduit sous pression au moment même où se formera autour de lui le tube de plomb 18 (fig. 2).

L'entrée du câble dans la chambre 11 se fera par un tube

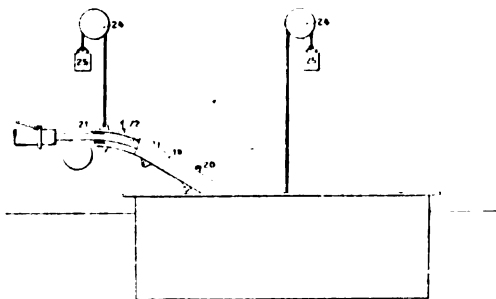


Fig. 3.

ou manchon 13 de longueur suffisante pour éviter autant que possible les fuites d'enduit.

La gaine démontable 19 (fig. 1 et 3) munie d'une tubulure 22 et suspendue par des poulies 24 avec contrepoids 25 est disposée pour être manœuvrée très rapidement, soit pour en envelopper le câble pendant les arrêts, soit pour l'en retirer.

Calcul des électro-aimants à courant continu (1).

OBJET DE CETTE ÉTUDE. — L'auteur analyse les rôles des principaux éléments des électro-aimants à courant continu afin de déterminer l'influence des facteurs de ces éléments sur les propriétés de ces appareils.

Cette étude s'intéresse, en conséquence :

- 1° A la bobine;
- 2° A la valeur du couple obtenu;
- 3° A la position de l'axe de rotation pour laquelle le couple a une valeur maximum;

(1) Eugène GABOR, *Bulletin de l'Association suisse des Électriciens*, janvier 1921, t. XII, n° 1, p. 1 à 14, 5 000 mots, 11 fig., 4 tab.

4° A l'influence des dimensions des épanouissements polaires et à l'influence des propriétés magnétiques du fer.

Cette étude a une portée générale. Mais l'auteur s'inspire surtout de l'exemple des relais pour signaux de chemin de fer. La forme qu'il envisage est donnée figure 1.

1. LA BOBINE. — Dans la technique des courants de grande intensité, la dimension des bobines est déterminée par la température admissible. Il n'en est plus de même pour les petits électro-aimants où l'élévation de température est insignifiante. On cherche alors l'économie du courant et du cuivre.

Une notion importante est celle du nombre maximum de spires. « Quand on désire réaliser une bobine de résistance R , le nombre de spires ne s'accroît pas indéfiniment si, augmentant le diamètre du fil, on en accroît la longueur.... » Il s'agit, bien entendu, du nombre de spires par unité de lon-

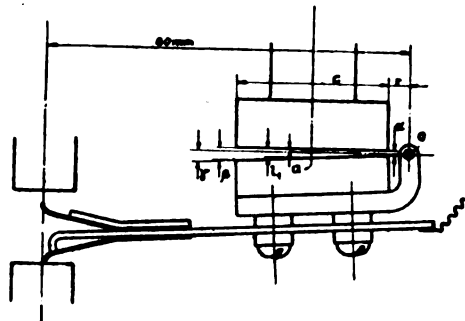


Fig. 1.

gueur. La limite du nombre de spires se calcule très facilement; sa valeur est donnée par la formule

$$n_{\max} \text{ (par cm)} = \frac{1}{\sqrt{\pi^2}} \sqrt{R}, \quad (1)$$

où ρ est la résistivité du métal considéré et R , la résistance de la bobine.

Remarque. — Hypothèses faites par l'auteur pour arriver à cette formule simple : a) le fil est de section carrée; b) le volume du noyau est négligeable par rapport à celui de la bobine. Pour déterminer le nombre de spires que contiendra une bobine de dimensions et de résistance déterminées, l'auteur se sert de tables numériques spéciales correspondant au genre de fil employé. Nous donnons, à titre d'exemple, un extrait de l'une de ces tables. Supposons une bobine. Sa résistance doit être de 4 ohms. Le volume occupé par l'enroulement, calculé d'après les dimensions que doit avoir la bobine, est de 77,8 cm³ et la surface de la section droite de l'enroulement 9 cm².

La résistance par centimètre cube d'encombrement sera donc 0,0514 ohm, dont le chiffre 0,0505 de la dernière colonne de droite est le plus voisin et correspond à 145 spires (de fil de $\frac{8}{10}$ mm), par centimètre carré. En supposant que dans cet écart les nombres de spires par cm³ sont proportionnels aux racines carrées des résistances par cm³, on voit que le nombre de spires qui donnera 0,0514 ohm sera

$$145 \sqrt{\frac{0,0514}{0,0505}} = 146 \text{ par cm}^2,$$

Dimensions et constantes électriques de fil émaillé américain.

| DIAMÈTRE | | ÉPAISSEUR DE L'ISOLANT | SECTION DU CONDUCTEUR | | NOMBRE DE SPIRES | LONGUEUR DE FIL | RÉSISTANCE | |
|-----------|----------------|------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|
| nu d | isolé d_1 | $\frac{d_1 - d}{2}$ | NU. $\frac{\pi d^2}{4}$ | d_1^2 | par cm ² | par cm ² | aux 100 m à 15°C | en cm ³ à 15°C |
| mm | mm | mm | mm ² | mm ² | | m | ohms | ohms |
| 0,30 | 0,8304 | 0,01530 | 0,50240 | 0,68956 | 145 | 1,45 | 3,48 | 0,0505 |

soit, pour la bobine entière

$$146 \times 9 = 1314 \text{ spires.} \quad (2)$$

Si nous appliquons à cet exemple la formule (1), nous obtenons, pour le nombre maximum de spires :

1° par cm

$$n_m (\text{cm}) = 430 \sqrt{0,555} = 320,$$

avec $\rho = 0,000001724$ ohm-cm (cuivre), et, pour toute la bobine (longueur 7,2 cm).

$$n_m = 7,2 \times 320 = 2300 \text{ spires.} \quad (3)$$

Les nombres obtenus en (2) et (3) permettent à l'auteur de définir, par leur rapport, le facteur d'enroulement. Il est ici égal à

$$f = \frac{1314}{2300} = 0,57.$$

Il représente en quelque sorte la perte d'espace causée par la présence du noyau et l'épaisseur des isolants, et aussi par le fait que la section du fil est circulaire.

Les chiffres suivants, calculés de la même façon que les précédents, montrent comment le facteur d'enroulement varie avec le diamètre extérieur de la bobine. Autrement dit, nous allons voir ce que devient ce facteur pour une plus grosse bobine et pour une plus petite, mais de même résistance. Si on augmente le diamètre extérieur de la bobine de 1 cm, le volume d'enroulement s'accroît de 65 pour 100, mais le facteur d'enroulement n'augmente que de 5,5 pour 100. Si on diminue le diamètre de la bobine de 1 cm, le volume diminue de 51 pour 100 et le facteur d'enroulement de 9,5 pour 100 seulement.

On voit, d'après les exemples qui précèdent, que l'auteur considère que les données numériques, bases du calcul d'une bobine, sont : sa résistance, ses dimensions.

On voit que cette méthode de calcul, les tables étant supposées établies, permet de se rendre rapidement compte des éléments résultant des diverses sortes d'enroulements qu'on veut choisir.

2. LE COUPLE. — L'auteur considère un électro à armature non parallèle aux épanouissements polaires, tel celui de la figure 1. γ est l'angle parcouru par l'armature; a est l'épaisseur des palettes de butée; B , induction dans l'air entre pôles et armature; nJ , ampères-tours totaux; l_1 , longueur moyenne entre pôle et armature au repos; s , largeur des pôles, de longueur c , de section F .

La formule de Maxwell donne, pour la force portante P ,

$$P = \frac{B^2 F}{8\pi 981\,000} \text{ kg.}$$

Appliquons-la à un élément d'armature de largeur dx , éloigné de x du point d'axe O , et cherchons la force qui s'exerce sur lui. On supposera qu'il y a deux pôles

$$B = \frac{0,4\pi nJ}{2l_1}, \quad F = 2sdx, \quad (4)$$

(nJ ne devrait ici exprimer que les ampères-tours nécessaires à l'excitation du flux dans la couche d'air).

$$dP = \frac{(0,4\pi nJ)^2}{4l_1^2} \cdot \frac{2sdx}{8\pi 981\,000}.$$

Le couple sera

$$dM = dP \cdot x,$$

et si l'on observe que $l_1 = a + x \operatorname{tg} \gamma$, et qu'on pose $\operatorname{tg} \gamma = b$, il vient

$$dM = \frac{(0,4\pi nJ)^2 2s}{8\pi 981\,000 \times 4} \times \frac{1}{(a + bx)^2} dx \cdot x,$$

et

$$M = \frac{(0,4\pi nJ)^2 2s}{8\pi 981\,000 \times 4} \int \frac{x}{(a + bx)^2} dx.$$

On a

$$\int \frac{x}{(a + bx)^2} dx = \frac{1}{b^2} \left\{ \log_e [a + b(r + c)] - \log_e (a + br) \right\} + \frac{a}{b^2} \left[\frac{1}{a + b(r + c)} - \frac{1}{a + br} \right].$$

Posons

$$a + br = \alpha, \quad a + b(r + c) = \beta,$$

on tire

$$M = \frac{(0,4\pi nJ)^2 s}{8\pi 981\,000 \times 2b^2} \left(\log_e \frac{\beta}{\alpha} - \frac{abc}{\alpha\beta} \right),$$

ou

$$M = \frac{6}{10^8 b^2} s \left(\log_e \frac{\beta}{\alpha} - \frac{abc}{\alpha\beta} \right) (nJ)^2.$$

Remarque. — S'il s'agit d'un électro-aimant où l'armature se déplace parallèlement devant les épanouissements polaires, la formule se simplifie et devient

$$M = \frac{6}{10^8 a^2} F \left(r + \frac{c}{2} \right) (nJ)^2.$$

3. COUPLE MAXIMUM. — En se reportant à la figure 2 on fait les remarques suivantes : l'axe O restant fixe, si on

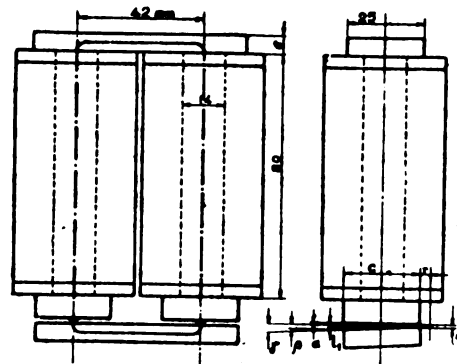


Fig. 2.

déplace l'électro parallèlement à lui-même vers la gauche, le bras de levier augmente, mais la force d'attraction diminue, puisque l'épaisseur de la couche d'air augmente. Au contraire, si l'électro se déplace à droite, la force augmente, mais le bras de levier diminue.

Il y a une position, correspondant à une certaine valeur

de r pour laquelle le couple est maximum. On obtient cette valeur en égalant à zéro la différentielle

$$\frac{dM}{dr},$$

et l'on en tire

$$r = \pm \frac{1}{2b} \sqrt{4a^2 + b^2c^2} - \frac{c}{2}.$$

4. RÔLE DES PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DU FER. — Ces propriétés sont concrétisées par la courbe d'induction magnétique de chaque échantillon de fer; mais comme cette courbe n'est pas une courbe géométrique, on ne peut exprimer ces propriétés par des formules. Aussi, en matière d'électro-aimants, est-il nécessaire de tracer cette courbe et de l'étudier.

Les électro-aimants pour relais de signalisation de chemins de fer, comme ceux du reste pour télégraphe et téléphone, n'utilisent que des valeurs d'induction petites, dans le fer : 3000 à 6000 gauss. La dispersion, dans ces cas, est négligeable. Au contraire, elle prend, avec les fortes inductions, une grande importance. C'est le cas des pôles de machines électriques.

La force portante d'un électro-aimant est proportionnelle au carré de l'induction dans l'air (formule de Maxwell). Cette dernière dépend du rapport entre la section du flux dans l'air et sa section dans le noyau. Comme c'est la forme et, en particulier, la surface des épanouissements polaires qui règlent la section du flux dans l'air, ce sont ces derniers organes qui, en dernière analyse, jouent le grand rôle dans la valeur de l'induction dans l'air.

En raison de leur grande surface, les épanouissements polaires ont une réluctance négligeable. — La réluctance de l'intervalle d'air est plus grande quand l'armature est au repos. L'armature est donc plus fortement attirée en fin de course qu'au départ, pour la même valeur du courant d'excitation. Aussi, suivant la nature des électro-aimants, y a-t-il à considérer :

- 1° La force portante, armature au repos (éloignée des pôles);
- 2° la force portante, armature contre les pôles;
- 3° la valeur du courant pour laquelle l'armature se décolle.

Enfin, il faut déterminer la force portante due au magnétisme rémanent. Dans ce cas, on porte dans la formule de Maxwell la valeur B_r de l'induction rémanente dans l'air. C'est celle qui correspond à l'abscisse zéro de la partie descendante de la caractéristique d'induction. Le rapport des sections de flux (dans l'air, dans le fer) donne B_r en fonction de l'induction rémanente dans le fer, indiquée par la courbe.

Dans la formule de la force portante, l'induction B étant l'induction dans l'air, il faut calculer les ampères-tours correspondant à cette dernière, et qui ne sont qu'une fraction des ampères-tours totaux. Cette détermination peut se faire instantanément si on trace, ainsi que l'indique l'auteur, les courbes de la figure 3.

I désigne la courbe d'induction d'un échantillon de fer donné. Mesurées par une méthode habituelle, les valeurs de l'induction sont données en fonction des ampères-tours d'excitation. Il s'agit d'un noyau de fer de qualité, de section et de longueur données, faisant partie d'un électro-aimant représenté figure 2.

La courbe I représente la variation du champ dans l'air en fonction des ampères-tours d'excitation correspondants. I est, comme on sait, une droite. Elle a été construite de la façon suivante. Si l'on ne considère que le seul circuit magnétique constitué par l'intervalle d'air entre pôles et armature (c'est-à-dire le circuit de mêmes section et longueur), la formule fondamentale

$$B = \frac{\mathcal{F}}{\mu l}$$

devient

$$H = \frac{\mathcal{F}}{l} = knJ,$$

et permet de déterminer la courbe $\mathcal{H} = f(nJ)$ point par point. En réalité, la courbe n'a pas été tracée en portant, pour chacune de ces valeurs de H , l'ordonnée correspondante, mais une ordonnée k fois plus grande, k étant le rapport entre la section de la tranche d'air et celle du noyau. (Dans le cas de l'électro de la figure 2, $k = 6$). Ce ne sont donc pas les champs dans l'air qui sont portés en ordonnée, mais les inductions dans le fer qui déterminent ces champs.

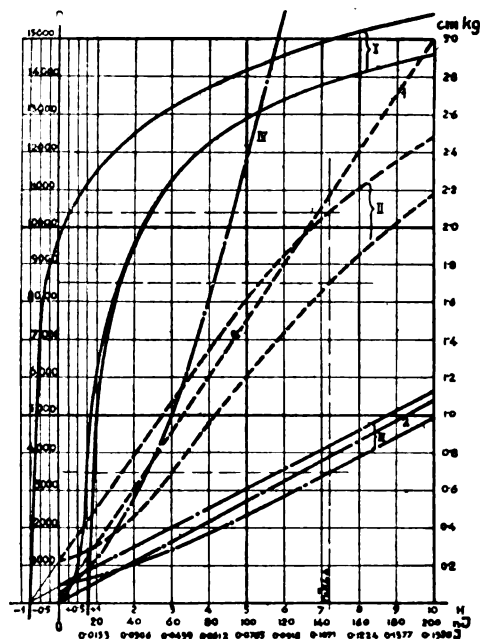


Fig. 3.

La droite 2 a été établie de la même façon que 1, la première correspond à une épaisseur d'air moyenne de 2,8 mm, la seconde à 1 mm.

L'intérêt des droites 1 et 2 ainsi tracées se révèle avec les courbes telles que II, établies de la façon suivante. Étant donnée une valeur de l'induction dans le fer, 10 350 par exemple, on a porté comme abscisse correspondante celle de la courbe I pour 10 350, augmentée de celle de 1. Cette abscisse représente les ampères-tours d'induction dans le fer plus les ampères-tours du champ correspondant dans l'air, c'est-à-dire les ampères-tours totaux.

Réciproquement, grâce à la courbe II, on peut trouver instantanément, pour une intensité d'excitation déterminée, le nombre d'ampères-tours partiels dépensés pour entretenir le flux dans l'air, c'est-à-dire le nombre exigé par la formule (1).

Le tracé de ces courbes épargne bien des calculs et, de plus, donne la physionomie du phénomène magnétique particulier à chaque genre d'électro-aimant.

La courbe II correspond à la tranche d'air de 1 mm, la courbe III à celle de 2,8 mm de longueur.

La courbe IV est celle du couple.

L'auteur termine par quelques exemples de calcul relatifs à des électro-aimants pour relais de chemins de fer.

L. C.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Electricité et Gaz du Nord.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 19 JANVIER 1921.

Lors de l'assemblée générale du 2 février 1921 (voir *R. G. E.* du 2 avril 1921, t. IX, p. 474), le Conseil avait exposé la situation des différentes exploitations et les programmes d'avenir de la société.

Depuis cette époque, les installations sont complètement reconstituées et les extensions prévues sont soit achevées, soit en voie d'exécution.

Voici la situation des différentes exploitations :

Centrale de Jeumont. — La région très industrielle que dessert cette station se reconstitue très rapidement. Elle marche actuellement à pleine allure et le nombre de kilowatts-heure qu'elle a déversés sur le réseau pendant l'exercice qui prend fin est notablement supérieur, non seulement au nombre de kilowatts-heure vendus pendant l'exercice précédent, mais encore à la production qui était prévue en 1914.

Les installations existantes ont été complètement revisées et le programme des extensions et modifications annoncées l'année dernière à pareille époque est en bonne voie d'exécution. Il est à remarquer que c'est avec le matériel déjà existant et sans tenir compte de ces extensions que ces résultats ont été obtenus, grâce à la meilleure qualité des charbons qui a permis une utilisation plus complète du matériel.

La centrale de Jeumont est reliée par le réseau d'État, à 45 000 v, avec la centrale de la filiale la Société d'Électricité de la région de Valenciennes-Anzin et peut recevoir de cette dernière un appoint de puissance assez important, ce qui assure une plus grande sécurité dans la distribution. Elle se trouve également reliée avec la centrale d'État d'Hirson par une ligne à 45 000 v dont l'achèvement n'est plus qu'une question de jours.

Centrale de Maubeuge. — Cette centrale, qui est le complément de celle de Jeumont et qui alimente, d'ailleurs, le même réseau que cette dernière, est déjà reconstituée suivant le programme prévu en 1914.

Elle entre actuellement dans la période de réalisation des extensions, tant en ce qui concerne la chaufferie qu'en ce qui concerne les groupes tournants.

Des câbles sont prévus pour relier les deux centrales entre elles; cela leur permettra de faire des échanges de puissance et de réduire, au strict minimum, l'immobilisation improductive des machines en réserve.

Il convient de remarquer que la répartition de la clientèle entre la centrale de Jeumont et celle de Maubeuge est réglée par la situation géographique des câbles et des lignes d'alimentation en tenant compte des meilleures conditions de rendement.

Centrale de Lille. — L'exploitation de cette usine qui avait dû, au début, restreindre les demandes d'énergie de ses clients, quand elle était elle-même tributaire de centrales voisines est, aujourd'hui, complètement réorganisée.

Non seulement elle fait face à tous les besoins de sa clien-

tèle, mais elle fournit, à titre de réciprocité, une certaine quantité d'énergie à ces mêmes centrales.

Elle marche à plein rendement et la clientèle, dont elle s'est assurée les contrats, lui garantit pour l'avenir l'utilisation maximum de ses installations.

Usines à Gaz. — Les usines à gaz fonctionnent à plein rendement. La production actuelle en mètres cubes de gaz fournis dépasse déjà celle d'avant-guerre grâce au large emploi du gaz pour les usages industriels.

Société d'Électricité de la région Valenciennes-Anzin. —

La centrale de Valenciennes est en parfait ordre de marche et fonctionne régulièrement dans des conditions des plus satisfaisantes. La demande de la clientèle n'a fait que croître et cette société a été amenée à augmenter ses installations générales dans une proportion importante. Les travaux d'extensions sont en cours d'exécution.

Les contrats qu'elle a passés avec sa clientèle lui assurent une grande activité pour de nombreuses années.

Cette société procède, d'ailleurs, à l'électrification des communes de sa zone.

Pendant l'exercice précédent, cette société a pu déjà distribuer un dividende et l'exercice, qui a pris fin le 31 décembre dernier, donnera un résultat très supérieur au précédent.

Gaz et Electricité du Hainaut. — Les difficultés rencontrées au début par cette société, pour la revision des contrats d'avant-guerre et leur mise en harmonie avec les conditions économiques actuelles se sont aplanies et le développement de la clientèle suit une marche très satisfaisante.

Les trois centrales de Montignies, Bascoup et Ville-sur-Haine fonctionnent normalement et le programme des extensions prévues est en voie d'achèvement.

Les résultats de l'exercice qui vient de se terminer sont très brillants; ils répondent à l'effort qui a été fait par cette société depuis l'armistice et permettront d'inaugurer cette année l'ère des dividendes.

Société d'Études et de Recherches pétrolifères et Société de Recherches d'Hydrocarbures. —

La Société Electricité et Gaz du Nord possède 40 pour 100 du capital de ces deux sociétés. La première a entrepris, dans la vallée du Buguey (Ain), des sondages dont l'un a rencontré, par deux fois, des couches de gaz naturel dont le débit a dépassé 100 000 m³ par jour et dont la composition est analogue à celle des gaz d'Amérique. L'importance de ce gisement s'est manifestée par la quantité de gaz déjà sortie avant que l'on ait pu procéder au captage et par la pression élevée maintenue actuellement. Ces gaz sont particulièrement riches en éléments combustibles; ils ont donné à l'analyse plus de 9 500 calories, alors que le gaz de houille en donne 4 500.

La situation de la société est donc très satisfaisante.

La clientèle s'est accrue dans une forte proportion à tel point qu'il a fallu, dans toutes les centrales, non seulement reconstituer les installations d'avant-guerre qui devaient déjà donner un supplément de puissance disponible du fait

de leur rajeunissement, mais encore augmenter la puissance installée dans des proportions importantes.

La production annuelle d'avant-guerre est de loin dépassée.

La vente de l'énergie est constamment en progression, et ce, malgré la crise industrielle qui sévit actuellement.

Les bénéfices des usines, escomptes, intérêts divers et produits du portefeuille s'élèvent à 7 276 172,72 fr auxquels s'ajoute le report précédent 45 919,89 fr.

Il faut en déduire les frais généraux d'administration et impôts divers, 343 572,71 fr et 2 193 391,08 fr pour divers amortissements.

Le bénéfice net s'élève donc à 5 128 701,51 fr qui se répartit : 5 pour 100 à la réserve légale sur 5 082 781,64 fr.

Un premier dividende de 4 pour 100, soit 10 fr aux 280 000 actions.

Une attribution aux membres du Conseil de 60 859,27 fr.

Un deuxième dividende de 5 fr.

Le report à nouveau est de 13 703,18 fr.

Le dividende est payable à partir du 1^{er} février 1922, à raison de 13,50 fr par action nominative et 11,85 fr par action au porteur contre remise du coupon n° 5. Les parts toucheront 47,20 fr contre remise du coupon n° 4.

BILAN AU 30 SEPTEMBRE 1921.

| Actif. | | fr |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----|
| Frais de constitution et d'augmentations de capital de la société..... | 943 895,97 | |
| Portefeuille, titres..... | 18 164 383,10 | |
| Mobilier du siège social..... | 1 | |
| Usines, réseaux et concessions : | | |
| 1 ^{re} Installations n'ayant pas subi de dommages..... | 20 389 429,15 | |
| 2 ^o Valeur 1914 des dommages causés par les hostilités..... | 19 152 187,53 | |
| Disponibilités : | | |
| Caisses, banques et débiteurs divers..... | 26 400 884,55 | |
| Reconstitution industrielle..... | 28 612 385,99 | |
| Terrains à Paris..... | 1 664 806,38 | |
| Magasins (approvisionnements et sous-produits)..... | 3 510 703,70 | |
| Comptes d'ordre (titres à libérer)..... | 205 250 | |
| | 110 043 927,37 | |
| Passif. | | fr |
| Capital : | | |
| 280 000 actions de 250 fr..... | 70 000 000 | |
| 10 000 parts bénéficiaires..... | Mémoire. | |
| Réserve légale..... | 314 410,12 | |
| Fonds de renouvellement du matériel..... | 4 200 000 | |
| Fonds d'amortissement..... | 4 350 000 | |
| Créditeurs divers..... | 9 343 980,18 | |
| Avances de l'Etat..... | 16 367 735,69 | |
| Coupons restant à payer..... | 153 850,03 | |
| Compte d'ordre (versements restant à effectuer sur titres)..... | 205 250 | |
| Profits et pertes, solde..... | 5 128 701,53 | |
| | 110 043 927,37 | |

Société Industrielle des Téléphones.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 16 DÉCEMBRE 1921.

La crise commerciale et industrielle, qui s'est déclarée dès le second semestre de l'année 1920, n'a eu, pendant cet exercice, de répercussion que sur un certain nombre de branches des fabrications de la société, les autres ont bénéficié d'un chiffre important de commandes non exécutées au 30 juin 1920, aussi les résultats de l'année 1920-1921 restent-ils satisfaisants.

Il est affecté aux amortissements une somme de 2 250 000 fr notablement supérieure à celle prélevée avant la guerre. On donne communément à ces prélèvements le nom d'amortissements, alors que, pour les industries, le nom juste serait « réserve pour renouvellement de matériel ». Or, le coût du

matériel, dont il faut prévoir le renouvellement, ayant plus que triplé depuis 1914, la somme de 2 250 000 fr correspond à celle qui était normale en 1914.

La société a, en partie, terminé les constructions et les installations dans ses usines de Paris, de Bezons et de Levallois qui étaient en cours lors de la dernière assemblée; elle a pu exécuter ces travaux avec ses propres ressources.

Tout le programme de rénovation n'a pas été réalisé, il n'est pas abandonné mais simplement différé en présence de la crise actuelle.

Enfin, le Conseil propose de doter le fonds de prévoyance d'une somme de 1 750 000 fr et de le porter ainsi à 7 000 000 fr. Cette mesure paraît sage en présence de la crise que traverse l'industrie. En renforçant ainsi la trésorerie, la société pourra entrevoir la continuation de son programme sans avoir à recourir, au moins pour le moment, à l'augmentation de capital autorisée par l'assemblée générale extraordinaire du 24 septembre 1920.

Le bénéfice sur ventes, produits des participations industrielles, intérêts et divers, a atteint 9 297 095,63 fr, auxquels s'ajoute le report précédent 16 422,61 fr.

Après déduction des frais généraux de 1 953 603,34 fr, des intérêts, amortissements et divers, le solde créditeur ressort à 7 014 604,94 fr.

Il est prélevé 2 250 000 fr pour amortissement, il reste à distribuer 4 764 604,94 fr qui se répartissent : un premier dividende de 5 pour 100 : 10 pour 100 du reste au Conseil et 5 pour 100 pour rémunérations au directeur et au personnel : 1 750 000 fr pour augmenter le fonds de prévoyance ; 1 500 000 fr pour distribuer aux actions à titre de dividende complémentaire. Le report à nouveau est de 37 377,59 fr.

Le dividende élevé à 40 fr par action contre 35 fr pour l'exercice dernier est distribué, sous déduction des impôts, à partir du 27 décembre dernier.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

| Actif. | | fr |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----|
| Usines : | | |
| de la rue des Entrepreneurs..... | 3 870 005,53 | |
| de Levallois-Perret..... | 1 736 524,59 | |
| de la rue du Théâtre (Grenelle)..... | 2 155 372,38 | |
| de Bezons..... | 5 235 358,99 | |
| de Calais..... | 1 124 474,10 | |
| Brevets..... | 1 | |
| Participations industrielles..... | 760 153 | |
| Caisses, comptes courants et disponibilités..... | 14 880 943,28 | |
| Comptes débiteurs..... | 14 703 957,35 | |
| Marchandises en magasin et en cours de fabrication..... | 21 991 999,69 | |
| Prime de remboursement amortissable des obligations..... | 642 633,62 | |
| Loyer d'avance..... | 20 000 | |
| | 67 117 423,59 | |
| Passif. | | fr |
| Capital social..... | 18 000 000 | |
| Réserve légale..... | 2 132 265,91 | |
| Fonds de prévoyance..... | 5 250 000 | |
| Obligations en circulation..... | 6 936 500 | |
| Comptes créditeurs (fournisseurs, divers et sommes dues à l'Etat pour contributions sur bénéfices de guerre et autres)..... | 21 972 113,48 | |
| Effets à payer..... | 280 136 | |
| Sommes reçues à valoir sur commandes en cours..... | 5 025 227,45 | |
| Coupons d'actions et d'obligations échus restant à payer (impôts déduits)..... | 189 703,26 | |
| Coupons des obligations à échéance du 1 ^{er} juillet 1921 (impôts déduits)..... | 115 872,55 | |
| Obligations amorties restant à rembourser..... | 201 000 | |
| Solde du compte profits et pertes..... | 7 014 604,94 | |
| | 67 117 423,59 | |

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Décret modifiant le décret du 7 février 1907 fixant la composition du Comité permanent d'électricité.

Le « Journal officiel » du 11 février 1922 publie, page 1718, le décret suivant, en date du 8 février 1922.

Le Président de la République française,

Sur le rapport du ministre des Travaux publics,

Vu le décret du 7 février 1907, modifié par décrets des 14 janvier et 15 juillet 1910, relatif à la composition et au fonctionnement du Comité permanent d'Electricité, institué par l'article 20 de la loi du 15 juin 1906,

Décète :

ARTICLE PREMIER. — L'article 6 du décret susvisé du 7 février 1907 est abrogé et remplacé par les dispositions suivantes, savoir :

« Art. 6. — Quatre secrétaires adjoints, dont trois pris dans le personnel de l'administration des Travaux publics et un dans le personnel de l'administration des Postes et des Télégraphes, sont attachés au Comité par arrêté ministériel. Ils ont voix consultative et peuvent être appelés à présenter des rapports sur les affaires d'importance secondaire. »

ART. 2. — Le ministre des Travaux publics est chargé de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 8 février 1922.

Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires aux sociétés coopératives.

Le « Journal officiel » du 11 février 1922 publie, p. 372 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse suivantes :

11949. — M. Gabriel Despax, député, expose à M. le ministre des Finances qu'un groupement de coopératives a formé une union d'achats en commun, que lorsqu'un wagon de marchandises parvient à ce groupement, une partie des marchandises est remise aux sociétés adhérentes, l'autre partie vendue directement par le groupement à des tiers, que la taxe sur le chiffre d'affaires est certainement due sur les ventes à ces tiers, et demande si cette taxe est due sur la valeur des marchandises que partagent entre elles les coopératives formant le groupement, ajoutant que, pour leurs ventes personnelles, chacune de ces coopératives paye l'impôt sur le chiffre d'affaires. (Question du 24 janvier 1922.)

Réponse. — Si le groupement constitué entre des coopératives en vue d'achats en commun peut justifier qu'en effectuant l'achat des marchandises livrées aux sociétés adhérentes, il a agi pour le compte et en vertu d'ordres préalables de ces dernières, c'est-à-dire qu'il a joué le rôle d'un mandataire ou commissionnaire, l'impôt sur le chiffre d'affaires n'est dû que sur le montant des rémunérations qui peuvent lui être acquises. Dans le cas contraire, le groupement est, en l'état actuel de la législation, redevable de l'impôt sur le prix des marchandises livrées tant aux sociétés adhérentes qu'à des tiers. On ajoute toutefois que le projet de loi voté par la Chambre, le 2 juillet 1921, et ayant pour

objet de modifier certaines dispositions relatives à l'impôt sur le chiffre d'affaires contient, dans l'article 3, une disposition admettant les groupements à base coopérative d'achat entre commerçants, ainsi que les magasins de gros des sociétés coopératives de consommation, à ne payer l'impôt que sur le montant des bonis affectés au paiement des frais généraux ou non ristournés aux acheteurs. Ce projet de loi est actuellement soumis au Sénat.

Sur l'application de la loi sur les bénéfices de guerre.

Le « Journal officiel » du 1^{er} mars 1922 publie, page 578 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse qui suivent :

11739. — M. Delafoy, député, rappelle à M. le ministre des Finances le texte du paragraphe 2 de l'article 61 de la loi de finances du 31 décembre 1921, relative au paiement de la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre, et demande : 1^o s'il faut conclure de ce paragraphe que la justification de la possession des titres devra être faite dans le mois de janvier 1922, quelle que soit la date à laquelle seront employés les titres de rente, ou bien si le contribuable devra justifier, au moment des paiements seulement, quelle que soit la date desdits paiements, qu'il était possesseur, avant le 31 janvier 1922, de titres de rentes destinés à l'acquit de sa contribution sur les bénéfices de guerre ; 2^o à qui et dans quelle forme doivent être produites les justifications ; 3^o si un bordereau d'agent de change est considéré comme justificatif de la date d'achat. (Question du 19 janvier 1922.)

Réponse. — 1^o Le texte doit être interprété dans ce sens que la justification de la possession des titres doit être fournie dans le mois de la promulgation de la loi. Toutefois les comptables ont été autorisés à accorder aux contribuables qui, pour des motifs légitimes, n'auraient pas produit de déclaration en temps utile, un délai, qui ne saurait en aucun cas dépasser le 28 février 1922 ; 2^o la justification peut résulter d'une simple lettre recommandée adressée au trésorier général du département de l'imposition et indiquant les numéros ainsi que le type des inscriptions de rente au moyen desquelles le contribuable bénéficiaire soit d'un sursis, soit d'une suspension légale d'exigibilité entend se libérer. Il est accusé réception de cette lettre ; 3^o l'accomplissement de cette dernière formalité rend inutile la production d'un bordereau d'agent de change.

Loi ayant pour objet la modification de certains articles du Code de Commerce concernant la lettre de change et le billet à ordre.

Cette loi, en date du 8 février 1922, est publiée au « Journal officiel » du 9 février, page 1586. En voici le texte.

ARTICLE PREMIER. — L'article 110, 3^e alinéa, du Code de Commerce est complété comme suit :

« Elle est datée et signée. »

ART. 2. — L'alinéa 7 de l'article 110 du Code de Commerce est abrogé.

ART. 3. — L'article 113 du Code de Commerce est abrogé.

ART. 4. — L'article 116 du Code de Commerce est complété ainsi qu'il suit :

« La propriété de la provision est transmise de droit aux porteurs successifs de la lettre de change. »

ART. 5. — L'article 137 du Code de Commerce est ainsi modifié :

« L'endossement n'a besoin en la forme que de la signature de l'endosseur. »

ART. 6. — L'article 138 du Code de Commerce est ainsi modifié :

« L'endossement opère le transport ; il n'est une procu-

ration que si telle a été la volonté clairement exprimée des parties contractantes. »

ART. 7. — L'alinéa final de l'article 188 du Code de Commerce est abrogé.

ART. 8. — La présente loi est applicable à l'Algérie et aux colonies.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des Députés, sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Paris, le 8 février 1922.

Afin de permettre à nos lecteurs de mieux se rendre compte de l'importance de ces modifications, nous donnons ci-dessous, en regard les uns des autres les textes des articles modifiés par la nouvelle loi avant et après ces modifications.

Texte antérieur au 8 février 1922.

ART. 110.

La lettre de change est tirée, soit d'un lieu sur un autre, soit d'un lieu sur le même lieu.

Elle est datée.

Elle énonce :

La somme à payer.

Le nom de celui qui doit payer.

L'époque et le lieu où le paiement doit s'effectuer.

La valeur fournie en espèces, en marchandises, en compte ou de toute autre manière.

Elle est à l'ordre d'un tiers ou à l'ordre du tireur lui-même.

ART. 113.

La signature des femmes et des filles non négociantes ou marchandes publiques sur lettre de change, ne vaut, à leur égard, que comme simple promesse.

ART. 116.

Il y a provision si, à l'échéance de la lettre de change, celui sur qui elle est fournie est redevable au tireur ou à celui pour compte de qui elle est tirée, d'une somme au moins égale au montant de la lettre de change.

ART. 137.

L'endossement est daté.

Il exprime la valeur fournie.

Il énonce le nom de celui à l'ordre de qui il est passé.

ART. 138.

Si l'endossement n'est pas conforme aux dispositions de l'article précédent, il n'opère pas le transport ; il n'est qu'une procuration.

ART. 188.

Le billet à ordre est daté.

Il énonce :

La somme à payer.

Le nom de celui à l'ordre de qui il est souscrit.

L'époque à laquelle le paiement doit s'effectuer.

La valeur qui a été fournie en espèces, en marchandises, en compte, ou de toute autre manière.

Texte établi par la loi du 8 février 1922.

ART. 110.

La lettre de change est tirée, soit d'un lieu sur un autre, soit d'un lieu sur le même lieu.

Elle est datée et signée.

Elle énonce :

La somme à payer.

Le nom de celui qui doit payer.

L'époque et le lieu où le paiement doit s'effectuer.

Abrogé.

Elle est à l'ordre d'un tiers ou à l'ordre du tireur lui-même.

ART. 113.

Abrogé.

ART. 116.

Il y a provision si, à l'échéance de la lettre de change, celui sur qui elle est fournie est redevable au tireur ou à celui pour compte de qui elle est tirée, d'une somme au moins égale au montant de la lettre de change.

La propriété de la provision est transmise de droit aux porteurs successifs de la lettre de change.

ART. 137.

L'endossement n'a besoin en la forme que de la signature de l'endosseur.

ART. 138.

L'endossement opère le transport ; il n'est une procuration que si telle a été la volonté clairement exprimée des parties contractantes.

ART. 188.

Le billet à ordre est daté.

Il énonce :

La somme à payer.

Le nom de celui à l'ordre de qui il est souscrit.

L'époque à laquelle le paiement doit s'effectuer.

Abrogé.

ERRATUM

Au sujet de l'article « L'expérience de Michelson et la théorie de la relativité », par M. E. BRYLINSKI, paru dans « R. G. E. » du 11 mars 1922, t. XI, faire la rectification suivante :

Page 346, 2^e colonne, note (1). — Lire : *Bulletin de la Société française de Philosophie au lieu de Société française de Physique.*

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR: J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 13.

1^{er} AVRIL 1922.

Chronique. — Contraction de Lorentz et relativité. — Les travaux de la Conférence des grands Réseaux de Transport d'Énergie électrique à très haute Tension. — Le physicien A. Einstein au Collège de France. — Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. — Bibliographie: Les matériaux des constructions mécaniques et aéronautiques, par Ed. MARCOTTE, p. 449-450.

Section scientifique et technique. — Mesure de l'isolement d'un réseau en activité, par C. DUFRÈNE, p. 451. — Revues, analyses et informations: Calcul des redresseurs à vapeur de mercure pour courant triphasé; Prédétermination des courbes de l'intensité et de la tension, p. 456; Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? p. 461.

Section industrielle. — Les fours électriques et l'électrometallurgie d'après les brevets récents (*suite et fin*), par L. JUMAU, p. 463. — Revues, analyses et informations: Un nouveau système de protection contre les surintensités, p. 468; Tarification de l'énergie électrique, p. 472; Observations manométriques aux pôles de l'arc électrique, p. 474.

Section économique et financière. — Importations et exportations françaises de matériel électrique, produits électrometallurgiques et électrochimiques, par Désiré PECTOR, p. 485. — Assemblées générales: Société d'Électricité de Paris, p. 478.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation: Loi abrogeant l'avance de l'heure en été, p. 479; Sur l'application de l'impôt sur le revenu aux coopératives de reconstruction, p. 479; Sur l'application de la loi sur les bénéfices de guerre aux sociétés françaises associées à des sociétés étrangères, p. 479; Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires, p. 479; Sur l'application de la loi sur les bénéfices de guerre, p. 480; Sur la déclaration des salaires par les patrons en vue de la perception de l'impôt, p. 480; Sur l'application de l'impôt sur le revenu, p. 480.

Contraction de Lorentz et relativité. — Nous avons reçu de M. F. Guéry la lettre ci-dessous datée du 18 mars 1922:

M. Georges Fournier, auteur d'un mémoire récent sur la gravitation universelle, a bien voulu attirer mon attention sur le fait que divers auteurs proposent d'interpréter le résultat de l'expérience de M. Sagnac en admettant qu'une source animée d'une translation entraîne avec elle son train d'ondes. L'expérience de M. Sagnac ne pourrait donc constituer, comme je le pensais, un « *experimentum crucis* », permettant de faire un choix entre ce que j'ai appelé l'éther émissif et l'éther absolu de Lorentz, en faveur de ce dernier.

Un examen attentif du texte de mon étude intitulée « Contraction de Lorentz et relativité » (*R. G. E.*, des 11 et 18 février 1922) révèle l'interprétation qu'il convient de donner à ma pensée:

Si l'on admet seulement l'éther émissif tel que je l'avais conçu, c'est-à-dire transmettant des ondes sphériques par rapport à la source mobile, comme le permet l'interprétation du résultat de l'expérience de Michelson, le résultat de l'expérience de Sagnac ne s'explique plus.

Pour exposer le point de vue d'une manière complète, il faudrait dire:

Une seule hypothèse sur l'éther ne suffit pas pour concilier les résultats des expériences de Michelson et de Sagnac;

Si l'on fait l'hypothèse de l'éther absolu, il faut postuler la contraction de la matière;

Si l'on fait l'hypothèse de l'éther émissif, il faut postuler la dilatation des ondes,

Les explications qui précèdent me paraissent bien mettre en lumière l'utilité capitale d'une étude corrélatrice des résultats des deux expériences de Michelson et de Sagnac, qu'il est impossible désormais de séparer l'une de l'autre si l'on veut avoir une idée claire des bases expérimentales de la théorie de la relativité. Ce sont les résultats de ces deux expériences que j'ai pris comme point de départ de ma tentative (exposée dans la *R. G. E.*) pour retrouver certains résultats de la théorie de la relativité, sans modifier les conceptions habituelles de temps et d'espace.

Les travaux de la Conférence des grands Réseaux de Transport d'Énergie électrique à très haute Tension. — L'Union des Syndicats de l'Électricité procède actuellement à la rédaction du compte rendu de ses travaux et va le publier en deux éditions distinctes: l'une en français, l'autre en anglais.

Afin de pouvoir fixer le nombre d'exemplaires à faire imprimer, l'Union serait reconnaissante à tous ceux qui désirent se procurer le compte rendu de la Conférence de bien vouloir lui faire connaître *le plus tôt possible* le nombre d'exemplaires qu'ils ont l'intention d'acquérir (prière d'indiquer en même temps si l'on désire l'édition anglaise ou l'édition française.)

Le prix de chaque volume est fixé forfaitairement à 60 fr pour tous ceux qui enverront leur souscription *avant le 1^{er} avril* prochain.

Passé cette date, le prix du volume sera d'au moins 75 fr; il ne pourra être fixé définitivement que quand l'impression sera terminée, et dépendra du nombre d'exemplaires dispo-

nibles. C'est donc rendre service, non seulement à l'Union des Syndicats de l'Electricité, mais à soi-même, que de faire connaître le plus tôt possible, à cette Union le nombre d'exemplaires désirés.

Pour tous renseignements, prière de s'adresser à M. Tribot-Laspière, secrétaire général de l'Union des Syndicats de l'Electricité et de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension, boulevard Malesherbes, 25, à Paris.

Le physicien A. Einstein au Collège de France.

— Le physicien A. Einstein, dont les travaux sont l'aboutissement des plus belles tentatives faites depuis Newton jusqu'à Lorentz dans le domaine de la physique et de la mécanique céleste, a accepté, comme ce dernier en novembre 1912, l'invitation qu'a pu lui adresser le Collège de France grâce à la fondation Michonis. Les conférences de M. Einstein seront dialoguées; l'élite des savants français aura ainsi l'occasion de soumettre directement ses critiques au principal ouvrier de la « Théorie universelle de relativité ».

Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale : Séance du 11 mars 1922. — A cette séance M. Charles FAROUX a fait une communication sur les *Progrès réalisés récemment dans la construction du moteur léger à explosion*. — En voici le résumé :

Les conditions qui assurent le meilleur rendement thermique et le meilleur rendement mécanique, c'est-à-dire le meilleur rendement global du moteur à explosions à 4 temps, seul cycle à envisager pour l'instant dans l'automobile, sont :

1° Des cylindres chauds ; 2° Une course de détente rapide ; 3° Une enceinte de surface minimum ; 4° Une course de détente longue ; 5° La réduction des contre-pressions à l'échappement ; 6° La diminution des résistances à l'admission ; 7° Une compression aussi élevée que possible ; 8° Un allumage intensif ; 9° Un parfait brassage du mélange carburé.

Certaines de ces conditions apparaissent d'exigences contradictoires, ce qui se rencontre assez fréquemment en mécanique appliquée. Dans chaque cas d'espèce, l'ingénieur pour déterminer son choix, fera état du but plus spécialement visé. Toutefois, deux conditions dominent tout : *les hautes compressions et les régimes angulaires élevés*. Si désirable qu'apparaisse l'emploi d'un très haut rapport de compression volumétrique, on est vite arrêté dans son accroissement par des phénomènes de cognement, d'auto-allumage, ainsi que par la résistance propre des bougies. Présentement, les bougies ne « tiennent » pas au delà de 7 kg : cm² de compression réelle : le rapport volumétrique accuse parfois un taux supérieur, 9 ou 10 par exemple, mais c'est là une simple donnée de construction du moteur qui n'a aucun rapport précis avec la compression réelle.

En ce qui concerne les régimes angulaires élevés, l'auteur signale un moteur récent tournant sous charge à 5 600 t : mn il est également amené à signaler des consommations spécifiques qui ont pu être abaissées à 170 g par cheval-heure, et il s'étend quelque peu sur les multiples problèmes d'équilibrage posés par ces grandes vitesses de rotation. Traitant divers cas concrets, celui des vilebrequins, il donne une description schématique de la curieuse machine d'Akimof dont il n'existe qu'un seul exemplaire en Europe.

A propos du caractère assez désordonné des recherches entreprises et des progrès accomplis, l'auteur déplore le manque d'entente des grands constructeurs français, qui se

refusent à travailler en commun, et se permet de faire appel à l'esprit si large des membres de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, ceux-ci pouvant faire beaucoup, grâce à leur autorité, pour hâter l'avènement de nouvelles méthodes de recherches basées sur une union désirable.

Ce manque de coordination dans la recherche se traduit par la nécessité des courses. Jusqu'à présent elles paraissent indispensables au progrès ; c'est un aiguillon pour les constructeurs. Tout progrès certain réalisé dans la voiture de course a toujours été appliqué à la voiture de tourisme. D'une façon générale, celle-ci est en retard de cinq à six ans sur la voiture de course.

Bibliographie : Les matériaux des constructions mécaniques et aéronautiques ; calculs de résistance, étude des matières premières, essais des bois, essais des métaux et de leurs alliages, par Ed. MARCOTTE, ingénieur A. E. M., ingénieur des Travaux publics de l'Etat, et E. BEREHARE ingénieur civil, ancien chef du service technique du contrôle de la réparation des moteurs de l'aviation militaire (1). — Les progrès de la métallurgie dans ces dernières années ont été tels qu'on peut affirmer qu'il est presque toujours possible de trouver, actuellement, le métal qui convient à une application déterminée. Mais les diverses publications auxquelles le constructeur doit se reporter pour éclairer son choix, le laissent embarrassé devant les nombreuses variétés qui lui sont signalées : les qualités en sont souvent mal définies, leur classement est plus ou moins arbitraire ; la confrontation des diverses études publiées exige une longue attention qui n'empêche pas toujours les erreurs.

Dans cet ouvrage, les auteurs se sont proposés comme but essentiel de relier, avec une méthode rigoureuse et une grande clarté, les divers résultats pratiques obtenus par la métallurgie moderne ; d'indiquer les meilleurs traitements thermiques et les procédés de contrôle aux différentes phases de fabrication, et de grouper logiquement tous les faits pratiques indispensables pour le choix, la réception et la mise en œuvre des matériaux des constructions mécaniques et aéronautiques.

Ce livre est une mise au point qui sera d'une grande utilité aux ingénieurs, aux directeurs, aux bureaux d'études et de fabrication, aux chefs d'ateliers, aux élèves ingénieurs et à tous les techniciens qui s'occupent de l'achat des matériaux (métaux et bois) et de leur mise en œuvre, de l'étude, de la construction et des essais des machines de toutes catégories, particulièrement des appareils devant résister à des efforts considérables ou anormaux : turbines à vapeur, moteurs à explosion et à combustion, alternateurs, ponts et ouvrages métalliques de grande portée, appareils d'aéronautique, etc.

L'ouvrage est précédé d'un exposé succinct des calculs modernes de résistance des matériaux. Les formules essentielles y sont démontrées par les méthodes analytiques les plus simples, complétées presque toujours par des procédés graphiques qu'illustrent de nombreuses figures.

Ce livre forme donc un ensemble bien ordonné de théories, de formules, de conseils et de documents pratiques sur les constructions mécaniques (résistance des matériaux, métallurgie, traitements thermiques et mécaniques, analyses et essais, étude des bois).

(1) Un volume, format 28 cm × 19 cm, de viii-414 pages, avec 95 figures, édité par Duxon, 47-49, quai des Grands-Augustins, Paris (VI^e). Prix net sans majoration, 48 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Mesure de l'isolement d'un réseau en activité

Les méthodes que nous allons indiquer, sauf peut-être la dernière, sont connues depuis longtemps; nous en présentons la démonstration sous une forme simplifiée due à l'utilisation du théorème des générateurs complexes, dont nous avons parlé dans un précédent article (R. G. E., 18 mars 1922, t. XI, p. 379-381). La méthode de mesure par lecture directe, dont la « R. G. E. » a déjà dit quelques mots (1^{er} octobre 1921, p. 103-D) nous paraît être d'un très grand intérêt pratique; son emploi semble donner le moyen d'améliorer notablement la surveillance des réseaux.

I. Définition. — a) Considérons d'abord le cas simple où les défauts d'isolement sont placés sur des points aux mêmes potentiels que les pôles. Soit

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}$$

la résultante des défauts existant sur le pôle positif.
Soit de même

$$\frac{1}{r'} = \frac{1}{r'_1} + \dots + \frac{1}{r'_n}$$

ce qui est relatif au négatif.

Il y a, dans la définition de l'isolement d'ensemble, une certaine part d'arbitraire.

On pourrait être tenté d'appeler isolement du réseau la quantité $s = r + r'$ qui détermine l'intensité supplémentaire débitée par le générateur à travers les défauts d'isolement : ce qu'on pourrait appeler le courant de perte ou mieux courant perdu.

Mais cette définition serait peu pratique; d'abord, parce que le courant perdu, toujours faible, est le moindre inconvénient des défauts d'isolement; ensuite,

sol, quand la force électromotrice de la source est supprimée. Avec cette conception, les résistances r et r' sont non plus en série, mais en parallèle (1) et l'isolement d'ensemble est donné par

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \quad \text{ou} \quad \rho = \frac{r r'}{r + r'}$$

Cette quantité ρ caractérise l'état du réseau beaucoup mieux que la somme s dont il a été question plus haut.

b) Mais les défauts d'isolement d'un réseau peuvent se trouver sur des points n'ayant pas même potentiel que les pôles; ils peuvent, par exemple, se trouver en plein milieu d'une résistance de chauffage ou encore sur un bobinage d'électro-aimant de relais ailleurs qu'aux extrémités.

Pour définir l'isolement dans ce cas plus complexe, il suffit, comme précédemment, de supprimer la force électromotrice de la source et de calculer la résistance entre l'ensemble du réseau et la terre (en supposant, comme toujours, que la résistance du réseau lui-même est nulle).

Dans ces conditions l'isolement d'ensemble ρ est défini par

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}$$

r_1, r_2, \dots, r_n étant les défauts individuels, supposés placés en des points quelconques du réseau.

Comme exemple simple de réseau possédant des défauts répartis de toute espèce de façons entre les

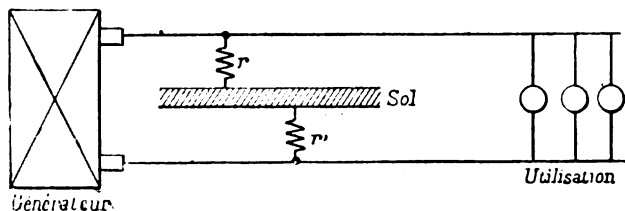


Fig 1.

parce qu'elle conduirait à dire qu'une installation dans laquelle les défauts sont localisés sur un seul pôle a un isolement parfait. Cette façon de parler serait tout à fait illogique.

Il est bien plus rationnel d'appeler isolement d'ensemble du réseau la résistance qui sépare ce réseau du

(1) Pour se rendre compte de cette mise en parallèle, il ne faut pas oublier que les résistances des appareils d'utilisation sont très petites par rapport aux résistances d'isolement. Dans ces conditions, les pôles positif et négatif ne forment plus qu'un conducteur unique. Dans le cas exceptionnel où les résistances d'isolement seraient très faibles, ρ pourrait être supérieur à $\frac{r r'}{r + r'}$. Nous laissons de côté ce cas complexe, d'ailleurs peu intéressant en pratique.

pôles nous citerons celui d'un réseau alimenté par une batterie d'accumulateurs ⁽¹⁾.

La mesure pratique de ρ pendant le fonctionnement du réseau paraît très compliquée a priori. En réalité, il existe pour cette mesure plusieurs méthodes assez simples que nous allons examiner successivement.

II. Méthode de Jacob. — C'est la méthode la plus connue; elle est exposée, par exemple, dans le cours de mesures de l'Ecole supérieure d'Electricité (M. Chautumat). Le procédé expérimental est le suivant :

a) On prend sur le réseau un point quelconque, que l'on réunit au sol par un voltmètre de résistance connue G ; on observe une déviation α ;

b) On change la résistance du voltmètre; soit G' sa nouvelle valeur; on observe une déviation α' ;

c) La résistance d'isolement est donnée par

$$\rho = \frac{G\alpha - G'\alpha'}{\alpha' - \alpha}.$$

Pour établir cette formule par application directe des lois de Kirchhoff, il faut se livrer à un calcul, qui, sans être précisément long, conduit à une certaine complica-

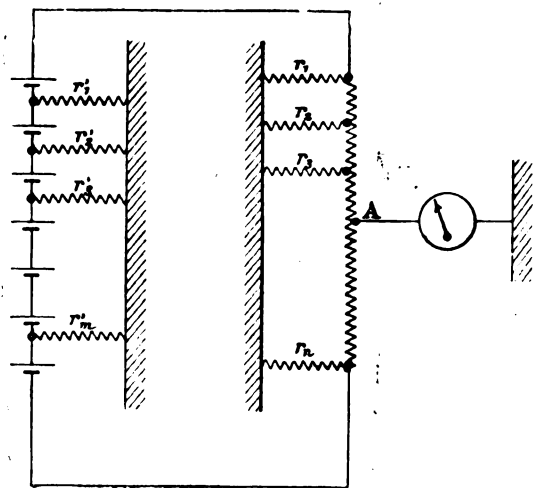


Fig. 2.

tion d'écriture. Le théorème des générateurs complexes permet d'obtenir beaucoup plus rapidement le résultat.

⁽¹⁾ Dans le cas où le réseau est alimenté par une dynamo, les défauts qui peuvent exister sur l'induit ne sont pas du tout comparables aux défauts d'isolement d'une batterie; ces défauts d'induit donnent naissance à des forces électromotrices périodiques dont la valeur moyenne n'est pas nulle. Ces forces électromotrices sont susceptibles de faire dévier les appareils de mesure ordinaire à courant continu, même s'ils sont polarisés; mais on démontre aisément que la déviation observée ne peut servir à mesurer le défaut que dans le cas où le voltmètre indique exactement par sa déviation la valeur moyenne du courant.

Cette condition étant rarement remplie nous supposons dans la suite que les défauts étudiés ne se trouvent pas sur des inducts des machines en rotation.

Représentons la portion du réseau servant à l'utilisation par une résistance A, A_2, \dots, A_n de faible valeur ohmique le long de laquelle nous supposons les défauts r_1, r_2, \dots, r_n .

Imaginons pour plus de généralité que d'autres défauts r'_1, r'_2, \dots, r'_m soient répartis sur la batterie d'accumulateurs alimentant ce réseau.

Soit A (fig. 2) le point de branchement du galvanomètre.

Avant la mise en place de ce galvanomètre, il existait entre le sol et le point A une certaine différence de potentiel u .

D'après le principe des générateurs complexes, l'intensité dans le galvanomètre sera

$$i = \frac{u}{G + \rho},$$

ρ étant la résistance interposée entre le point A et le sol quand la source est supprimée; ρ est le résultat de la mise en parallèle des résistances

$$r_1, r_2, \dots, r_n, \quad r'_1, r'_2, \dots, r'_m.$$

Donc, ρ n'est autre que la résistance d'isolement cherchée.

Lorsque la résistance du galvanomètre devient G' , on obtient

$$i' = \frac{u}{G' + \rho}.$$

Divisant membre à membre les deux relations obtenues pour éliminer l'inconnue auxiliaire u , il vient

$$i'(G' + \rho) = i(G + \rho), \quad \text{ou} \quad \rho = \frac{Gi - G'i'}{i' - i},$$

d'où l'on déduit, enfin, la relation à démontrer, en remplaçant i et i' par les quantités proportionnelles α et α' .

III. Emploi d'une source auxiliaire. — On opère toujours entre un point A du réseau et la terre :

a) On place en série avec le galvanomètre une source auxiliaire de force électromotrice E plus grande que U ⁽¹⁾; on lit la déviation α en volts ⁽²⁾;

b) On renverse la force électromotrice E et on lit la déviation α' ;

c) L'isolement ρ est donné par

$$\rho = G \frac{2E - (\alpha + \alpha')}{\alpha + \alpha'}.$$

On peut en effet écrire des équations analogues aux équations du paragraphe précédent en remplaçant u

⁽¹⁾ Il est inutile de mesurer U pour voir si cette condition est remplie; il suffit de constater que le courant se renverse dans le galvanomètre quand on renverse la force électromotrice E .

⁽²⁾ Dans la méthode de Jacob, il suffisait que α et α' soient proportionnels aux différences de potentiel. Ici il faut faire intervenir les différences de potentiel elles-mêmes.

successivement par $E - u$ et $E + u$; on obtient ainsi

$$i = \frac{E - u}{G + \rho}, \quad i' = \frac{E + u}{G + \rho};$$

cette fois l'élimination de u se fait par addition

$$i + i' = \frac{2E}{G + \rho}.$$

Pour trouver ρ , il suffit de remplacer i et i' par leurs

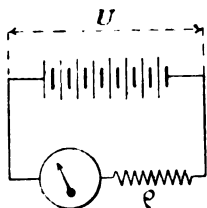


Fig. 3.

valeurs en fonction des différences de potentiel correspondantes

$$i = \frac{\alpha}{G}, \quad i' = \frac{\alpha'}{G}.$$

En effectuant la substitution, on obtient immédiatement la formule donnée ci-dessus.

La méthode de la source auxiliaire exige peut-être un peu plus de matériel que la méthode de Jacob, mais elle a l'avantage de se prêter beaucoup plus simplement au calcul. En effet, si l'on pose $2E = U$ et $\alpha + \alpha' = \Delta$ la formule devient

$$\rho = G \left(\frac{U - \Delta}{\Delta} \right),$$

et l'on reconnaît la formule qui permet de déterminer la valeur d'une résistance ρ par mise en série avec un voltmètre de résistance G , sur lequel on lit une déviation Δ quand la différence de potentiel appliquée est U .

Il est donc possible de graduer le voltmètre en ohms une fois pour toutes à condition, cependant, de ne pas changer la tension auxiliaire $E = \frac{U}{2}$. Le seul calcul à faire est l'addition mentale de α et α' ; on fait ensuite la lecture en ohms en face de la graduation de l'échelle des volts correspondant à la somme $(\alpha + \alpha')$.

IV. Méthode des déviations aux deux pôles. —

On place un voltmètre de résistance G successivement entre chacun des pôles et la terre; on lit les déviations α et α' et on fait leur somme Δ . L'isolement est donné par

$$\rho = G \left(\frac{U - \Delta}{\Delta} \right);$$

c'est la même formule que dans le cas de la source auxiliaire, mais U désigne cette fois la tension de fonctionnement du réseau.

Pour démontrer cette formule, nous appliquerons encore le théorème des générateurs complexes. Ici nous appellerons u la différence de potentiel entre le point A du réseau et la terre; quand le voltmètre est branché entre ces deux points, on a

$$i = \frac{u}{G + \rho};$$

d'autre part, quand le voltmètre est branché entre le pôle négatif et la terre, la force électromotrice du générateur complexe est $U - u$ et l'on a

$$i' = \frac{U - u}{G + \rho}.$$

Ajoutant les deux relations obtenues pour éliminer u , il vient

$$i + i' = \frac{U}{G + \rho}.$$

Comme précédemment, la formule s'obtient en remplaçant i et i' par leurs valeurs:

$$i = \frac{\alpha}{G}, \quad i' = \frac{\alpha'}{G}.$$

La méthode des déviations aux deux pôles a, comme celle de la source auxiliaire, l'avantage de pouvoir être employée presque sans calculs; de plus, le matériel qu'elle exige est plus simple. Elle devra donc être préférée toutes les fois que la tension d'utilisation U (qui intervient dans la graduation en ohms du voltmètre) sera à peu près constante.

La méthode de la source auxiliaire, de son côté, pourra rendre des services pour la construction d'un ohmmètre universel s'appliquant à des réseaux de tensions diverses.

La méthode des déviations aux deux pôles est très connue; on l'emploie beaucoup dans la Marine, mais rares sont les personnes qui l'emploient correctement; l'erreur la plus fréquemment commise consiste à vouloir appliquer la formule $G \left(\frac{U - \Delta}{\Delta} \right)$ à chacune des déviations α et α' prise isolément. On obtient ainsi deux résistances ρ_1 et ρ_2 que l'on combine pour avoir l'isolement total. Cette façon de procéder est tout à fait incorrecte; cependant, elle donne des résultats pratiquement exacts tant que Δ est petit. Dès que Δ est appréciable, elle devient tout à fait fautive.

En appliquant la méthode des déviations aux pôles, on ne devra jamais perdre de vue que la somme des déviations observées intervient seule et qu'une grande déviation ne correspond pas toujours à un très mauvais isolement. C'est ainsi que sur 110 v les déviations 85 v et 5 v correspondent à un isolement $\frac{2}{9} G$, tandis que les

déviation 50 v et 50 v, d'apparence moins anormales, indiquent un isolement bien plus mauvais ; $\frac{G}{10}$.

V. Méthode donnant l'isolement par lecture directe — On peut en imaginer plusieurs ; celle que nous allons indiquer dérive de celle signalée par M. W. Stubbings dans « Electrician » du 22 juillet 1921 ⁽¹⁾.

Le schéma de principe du dispositif est représenté ci-dessous (fig. 4).

P est un rhéostat à curseur formant potentiomètre sans graduation.

V est un voltmètre donnant toute sa déviation pour le quart de la tension de la source environ. Le nombre de milliampères produisant la déviation totale de ce voltmètre sera d'autant plus faible que la résistance à mesurer sera plus grande ; pour des isolements jusqu'à 20 000 ohms, on pourra prendre un voltmètre donnant toute sa déviation pour 2,5 mA, soit 10 000 ohms pour 25 v, ce qui est encore assez courant ⁽²⁾. *Ce voltmètre ne porte pas de graduation en volts*, il est gradué en ohms par la formule indiquée ci-dessous.

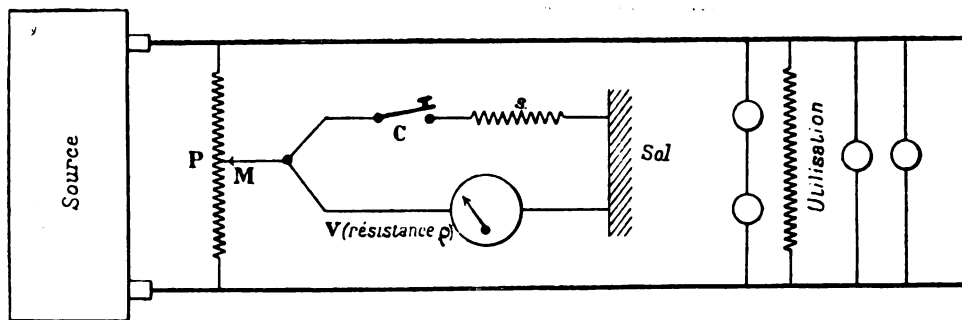


Fig. 4.

Dans la deuxième expérience, l'intensité i_1 , dans l'ensemble galvanomètre et résistance s , est donnée par une formule analogue

$$i_1 = \frac{u}{\rho + \frac{Gs}{G+s}};$$

mais il ne passe dans le galvanomètre qu'une fraction i' de l'intensité totale égale à

$$i_1 \times \frac{s}{s+G} \quad \text{ou} \quad i' = \frac{su}{(s+G)\left(\rho + \frac{Gs}{G+s}\right)}.$$

⁽¹⁾ Bibliographiée dans *R. G. E.*, 1^{er} octobre 1921, p. 103-D. La méthode Stubbings paraît convenir surtout aux très faibles isolements (au-dessous de 1 000 ohms). Celle que nous indiquons convient surtout de 1 000 à 20 000 ohms.

⁽²⁾ Pour les mesures d'isolements plus élevés, il faudrait avoir recours aux galvanomètres spéciaux dits microampèremètres donnant toute leur déviation pour moins d'un milliampère.

s est une résistance fixe du même ordre que la résistance du voltmètre.

Le mode opératoire est le suivant :

a) On agit sur le curseur M du potentiomètre de façon à faire dévier à bloc le voltmètre ⁽¹⁾ (zéro de l'échelle des ohms) ;

b) Sans toucher au curseur, on appuie sur la clef C, ce qui a pour effet de shunter le voltmètre par la résistance s ;

c) L'isolement en ohms est indiqué par lecture directe de la graduation spéciale du voltmètre.

La justification mathématique de cette méthode peut être faite en partant de la méthode de Jacob ; mais il est tout aussi simple d'établir la formule directement en utilisant le théorème des générateurs complexes.

Appelons, comme toujours, u la force électromotrice de notre générateur, c'est-à-dire la différence de potentiel qui existait entre le curseur M et le sol avant la mise en circuit du galvanomètre. L'intensité i du courant dans le galvanomètre est donnée par

$$i = \frac{u}{G + \rho}.$$

En divisant i' par i pour éliminer u , il vient

$$\frac{i'}{i} = \frac{s(\rho + G)}{(G + s)\left(\rho + \frac{Gs}{G + s}\right)}.$$

⁽¹⁾ Pour les grands isolements le voltmètre ne pourra pas dévier à bloc. La formule du générateur complexe appliquée au voltmètre nous permet de discuter la question immédiatement. Nous avons en effet $i_g = \frac{u}{G + \rho}$, u étant la force électromotrice appliquée au voltmètre et ρ l'isolement mesuré.

Supposons la tension de la source égale à 100 v. Dans le cas des défauts d'isolement localisés sur un seul pôle, qui est le plus défavorable ($u = 50$ v), on ne pourra avoir la déviation totale correspondant à $\frac{25}{G}$ que si l'on a $\rho \leq G$, c'est-à-dire si la résistance à mesurer n'excède pas 10 000 ohms.

Dans le cas des défauts d'isolement localisés sur un seul pôle, qui est le plus favorable ($u = 100$ v), on pourra mesurer jusqu'à 20 000 ohms ou, à la rigueur, 40 000 en employant un voltmètre à double graduation ainsi que nous l'indiquerons plus loin.

d'où

$$\rho = s \frac{i - i'}{i' + \frac{s}{G}(i' - i)}$$

Dans le cas particulier $s = G$, cette formule se réduit à

$$\rho = \frac{i - i'}{2i' - i} s :$$

c'est la formule que nous avons utilisée pour construire la figure 5. Nous avons pris 10000 ohms pour valeur commune de s et G . Le tracé a été fait en supprimant les

déviation de l'aiguille du galvanomètre proportionnelles à l'intensité.

Les portions du cadran qui sont couvertes de hachures ne peuvent être utilisées (voir plus haut, 3^e note du § v).

La graduation réduite est facultative; elle permet d'étendre un peu les limites d'utilisation de l'appareil; quand on emploie cette graduation, on doit, dans l'expérience préliminaire, régler le potentiomètre de façon à obtenir seulement la moitié de la déviation totale.

La figure 6 indique une des innombrables façons de réaliser pratiquement l'appareil. Nous avons supposé

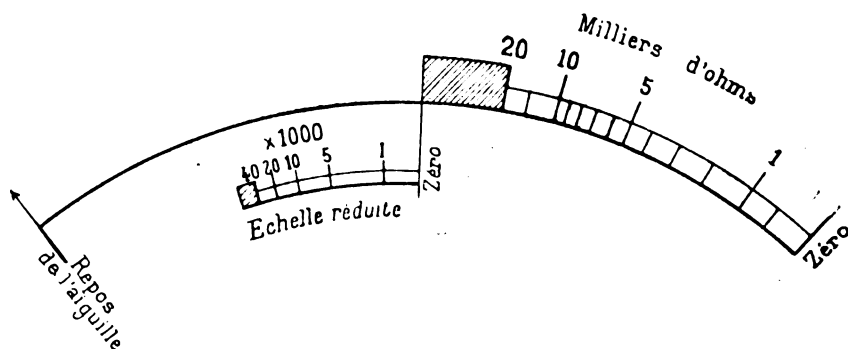


Fig. 5.

$G = s$; c'est l'hypothèse la plus naturelle mais, ce ne sera pas toujours la plus avantageuse.

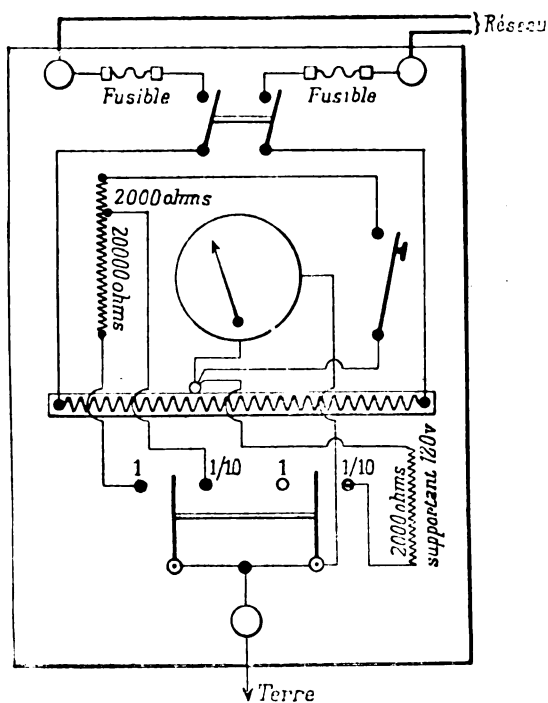


Fig. 6.

Nous avons représenté un modèle à deux sensibilités; on passe de l'une à l'autre par la manœuvre d'un com-

mutateur à deux positions. Quand le commutateur est sur position (1), on lit la graduation telle qu'elle est. Quand il est sur (1/10), on divise par 10 les chiffres lus.

On observera que les variations de résistance du voltmètre sont obtenues par shuntage, et non par mise en série, de résistances supplémentaires. Il est, en effet, nécessaire que le voltmètre donne sa déviation totale pour la même différence de potentiel quelle que soit la sensibilité utilisée.

VI. Conclusion. — La mesure correcte de l'isolement d'un réseau à courant continu en activité dans lequel les défauts d'isolement sont répartis d'une façon quelconque sur les pôles est plus délicate qu'on ne croit généralement. Il est dangereux de vouloir faire appliquer par le personnel subalterne des méthodes exigeant un calcul, telles que celle de Jacob ou même celle des déviations aux deux pôles. Avec ce dernier procédé, en particulier, les agents d'exécution, qui ne peuvent se rendre compte de l'esprit de la méthode, ont une tendance à ne retenir que les déviations α et α' , dont les valeurs ne signifient à peu près rien, et à ne pas calculer la somme ($\alpha + \alpha'$) qui seule importe.

Pour les mesures de tableau, toutes nos préférences vont à la méthode par lecture directe dont le seul défaut paraît être un manque d'étendue dans la graduation.

C. DUFRÈNE,
Lieutenant de vaisseau.

Revue, analyses et informations

Calcul des redresseurs à vapeur de mercure pour courant triphasé; prédétermination des courbes de l'intensité et de la tension (1).

Le système de connexion généralement employé pour les transformateurs utilisés en conjonction avec les redresseurs pour courant triphasé est le montage en étoile tant au secondaire qu'au primaire; on sait que ce mode de connexion est le seul possible dans le cas où on fait usage d'un transformateur; en outre, avec cette disposition, il se produit, en raison des déplacements de la charge qui se transporte tour à tour sur les différentes phases, des fuites magnétiques exerçant sur le mouvement pulsatoire du courant continu la même action compensatrice qu'une bobine de self-induction insérée dans le circuit parcouru par ce même courant.

On observe des phénomènes du même genre avec les transformateurs à forte dispersion spécialement établis pour fonctionner avec des redresseurs pour courant monophasé; l'étude du circuit magnétique, très simple dans ce cas, est faite par l'auteur à titre documentaire, ce qui lui donne l'occasion de remarquer que le calcul analogue du flux de dispersion pour un transformateur triphasé conduirait à des développements compliqués, par suite, en particulier, de la dyssymétrie dans la position des noyaux caractérisant le système de construction normalement adopté. On verra, plus loin, que l'on peut, par contre, expérimentalement résoudre facilement le problème en déterminant, à l'aide d'un essai, la réactance d'une bobine de self-induction imaginaire, laquelle, supposée intercalée dans le circuit à courant continu, produirait le même effet que les fuites magnétiques du transformateur.

Le redresseur à vapeur de mercure pour courant triphasé, il convient dès maintenant de le faire observer, n'utilise qu'une partie de chaque demi-onde; cette circonstance découle du fait qu'à un instant donné une seule anode est active. Si donc on représente par $E_m \sin \varphi$ la tension existant à vide entre point neutre et anode, une anode donnée ne travaillera que dans l'intervalle

$\varphi = \frac{\pi}{6}$ à $\varphi = \frac{5}{6}\pi$, le passage du courant étant assuré au bout de ce

temps par l'une des deux autres anodes. Le transformateur triphasé sur lequel est branché un redresseur pour courant également triphasé fonctionne effectivement en monophasé. Si l'on se reporte à la figure 1 pour la signification des symboles employés, on voit que l'on a à chaque instant, si c'est

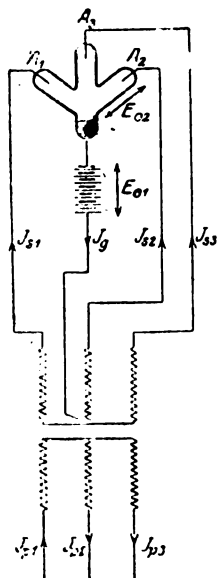


Fig. 1.

par exemple l'anode A_2 qui est active,

$$J_{p1t} = \frac{2}{3} J_{s1t} u,$$

$$J_{p2t} = J_{p3t} = \frac{1}{3} J_{s1t} u,$$

u désignant le rapport de transformation.

I. — Supposons, tout d'abord, que les fuites magnétiques du transformateur, considérées comme agissant à la manière d'une bobine de self-induction insérée dans le circuit du courant continu, aient une valeur nulle; supposons également que le redresseur travaille sur une résistance purement ohmique et ne donne lieu à aucune chute de tension. Si la tension du réseau est de la forme sinusoïdale, on a, J_m désignant la valeur maximum de l'intensité du courant continu et J sa valeur efficace, en ampères,

$$J = J_m \sqrt{\frac{\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} \sin^2 \varphi d\varphi}{\frac{4}{6}\pi}} = 0,841 J_m.$$

La valeur efficace du courant à une anode est

$$J = J_m \frac{0,841}{\sqrt{3}} = 0,485 J_m.$$

On a, d'autre part, pour la valeur efficace du courant primaire sur l'une des phases,

$$J_{p1} = u J_m \sqrt{\frac{\frac{4}{9} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} \sin^2 \varphi d\varphi + \frac{2}{9} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} \sin^2 \varphi d\varphi}{2\pi}} = u 0,396 J_m.$$

S'il s'agit d'un auto-transformateur, la valeur instantanée du courant dans la partie commune de l'enroulement est représentée par l'expression

$$J_{4t} = \left(J_m - \frac{2}{3} u J_m \right) \sin \varphi.$$

Cette expression est valable pour la fraction de période durant laquelle une anode donnée travaille sur la phase qui lui est conjuguée; pour le restant de la période, le courant est égal au courant primaire; sa valeur efficace est donc

$$J_4 = J_m \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{2}{3} u\right)^2 + \frac{2}{9} u^2}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} \sin^2 \varphi d\varphi} \\ = J_m \sqrt{\left(1 - \frac{4}{3} u + \frac{2}{3} u^2\right)} 0,2356.$$

La puissance pour laquelle il convient d'établir le trans-

(1) HANS NIELSEN, *E. T. Z.*, 20 octobre 1921, t. XLII, p. 1185-1190, 7000 mots, 5 fig.

formateur, supposé construit suivant le type à enroulements séparés, est donnée par la formule

$$\frac{3}{2} J_m \frac{E_m}{\sqrt{2}} (0,485 + 0,396) \text{ volt} \times \text{ampère}.$$

En admettant que la transformation s'effectue sans pertes, la puissance développée du côté courant continu est

$$0,841^2 J_m E_m \text{ watts.}$$

On en déduit que le transformateur doit être établi pour une puissance supérieure de 32 pour 100 environ à celle rendue par le redresseur sous la forme de courant continu.

Le facteur de puissance d'un tel redresseur, si l'on fait abstraction de l'influence due à la réactance qui existe toujours dans le circuit secondaire et qui se traduit par une certaine diminution de ce facteur, conserve une valeur constante égale à 0,841 pour toute l'échelle des puissances développées.

II. — Supposons maintenant que l'action exercée sur le courant par les fuites magnétiques du transformateur soit équivalente à celle résultant de la présence d'une bobine de self-induction ayant un coefficient d'induction L ; $X = 2\pi fL$ désignant la réactance correspondante, on a pour le circuit de l'une des anodes du redresseur, dont la disposition schématique est indiquée figure 1, l'équation suivante

$$E_m \sin \varphi - J_s R - X \frac{dJ_s}{d\varphi} - E_0 = 0. \quad (1)$$

Dans cette équation, $E_m \sin \varphi$ représente la tension simple au secondaire; R , la somme des résistances d'une bobine de l'enroulement secondaire et de l'ensemble du circuit de courant continu et E_0 , la somme de la force contre-électromotrice de la batterie et de la chute de tension dans l'appareil en verre du redresseur. (On néglige l'influence due à la résistance de l'enroulement primaire du transformateur).

L'équation différentielle (1) donne, par intégration,

$$J_s = \frac{E_m}{Z} \sin(\varphi - \gamma) - \frac{E_0}{R} + C e^{-c\varphi}, \quad (2)$$

dans laquelle on a

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad \tan \gamma = \frac{X}{R}, \quad c = \frac{R}{X}, \quad e = \text{base des log. nat.};$$

C désigne une constante d'intégration qui est déterminée comme suit :

Supposons que la valeur du courant à l'instant marqué par $\varphi = \frac{5}{6}\pi$, c'est-à-dire au moment où le courant saute d'une anode sur l'autre, soit égale à J_0 . On a

$$J_0 = \frac{E_m}{Z} \sin(150^\circ - \gamma) - \frac{E_0}{R} + C e^{-\frac{5}{6}\pi c},$$

d'où

$$C = e^{\frac{5}{6}\pi c} \left(J_0 + \frac{E_0}{R} - \frac{E_m}{Z} \sin(150^\circ - \gamma) \right). \quad (3)$$

Mais, comme au moment où le courant change d'anode, l'intensité du courant dans chacune des deux anodes inté-

ressées a une valeur identique, la valeur du courant continu à l'instant $\varphi = \frac{\pi}{6}$ doit être la même que pour l'instant $\varphi = \frac{5}{6}\pi$.

On a donc

$$J_0 = \frac{E_m}{Z} \sin(30^\circ - \gamma) - \frac{E_0}{R} + e^{\frac{5}{6}\pi c} \left(J_0 + \frac{E_0}{R} - \frac{E_m}{Z} \sin(150^\circ - \gamma) \right),$$

d'où

$$E_m = Z \frac{\left(J_0 + \frac{E_0}{R} \right) \left(e^{\frac{2}{3}\pi c} - 1 \right)}{0,5 R \left(e^{\frac{2}{3}\pi c} - 1 \right) + 0,866 X \left(e^{\frac{2}{3}\pi c} + 1 \right)}. \quad (4)$$

Si l'on calcule la valeur moyenne du courant continu J à l'aide de l'équation (2) par intégration entre les limites $\varphi = \frac{\pi}{6}$ et $\varphi = \frac{5}{6}\pi$ et si l'on introduit dans cette expression la valeur de constante C , d'après la relation (3), on obtient finalement

$$E_m = \frac{(JR + E_0) 2\pi}{3\sqrt{3}}, \quad (5)$$

Pour utiliser les équations en vue d'une application numérique, on calcule d'abord E_m à l'aide de l'équation (5); on porte sa valeur dans l'équation (4), ce qui permet de déterminer J_0 et, par conséquent, la constante C . La courbe du courant est donnée par l'équation (2).

Voyons maintenant comment on peut, par l'expérience, déterminer la grandeur de la réactance X .

La tension induite par le flux de dispersion est

$$E_{st} = X \frac{dJ_s}{d\varphi} = X \left(\frac{E_m}{Z} \cos(\varphi - \gamma) - c C e^{-c\varphi} \right).$$

Si $R = 0$, on a

$$E_{st} = E_m \sin \varphi - E_0 = E_m \left(\sin \varphi - \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \right).$$

car, dans ce cas où la chute de tension ohmique est nulle, la valeur moyenne de la tension simple entre les limites

$\varphi = \frac{\pi}{6}$ et $\varphi = \frac{5}{6}\pi$, doit être égale à $E_0 = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} E_m$. D'autre part, la valeur effective de la tension E_s , telle qu'elle serait mesurée au voltmètre est

$$E_s = E_m \sqrt{\frac{3}{2} \pi \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} \left(\sin \varphi - \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \right)^2 d\varphi} = 0,1511 E_m,$$

Supposons donc qu'on branche un redresseur pour courant triphasé suivant le schéma représenté (fig. 1), sur une force contre-électromotrice donnée, la résistance du circuit de courant continu étant aussi faible que possible; supposons, ensuite, que l'on insère, dans ce même circuit, une bobine de self-induction pour courant continu dont la réactance X_s aura été, au préalable, déterminée. Soient E la tension composée et E_{s2} la tension aux bornes de la réactance X_s , qui peuvent être facilement mesurées. La réactance de la bobine de self-induction imaginaire qui, placée dans le circuit de courant continu, produirait un effet équi-

valent aux fuites magnétiques du transformateur, est représentée très approximativement par l'expression

$$X = \frac{E \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \frac{0,151 X_2}{E_{s2}}.$$

Le résultat ainsi obtenu, bien qu'on néglige la résistance R , comporte une exactitude suffisante. Il convient de faire remarquer que la bobine de self-induction utilisée pour l'essai ci-dessus doit être choisie de manière à présenter une résistance magnétique constante, sous les inductions réalisées au cours de l'expérience.

Dans la figure 2, sont reproduites, à titre d'exemple d'application des formules développées dans le paragraphe II,

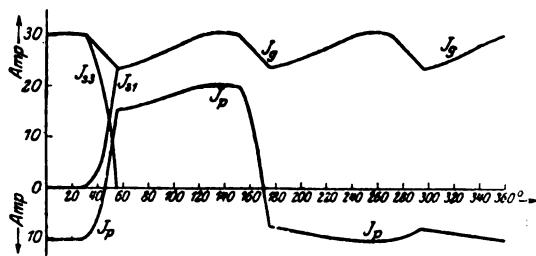


Fig. 2.

les courbes de tension et d'intensité d'un redresseur monté suivant le schéma représenté figure 1 et possédant les caractéristiques suivantes :

$$E_{01} = 110 \text{ V}, \quad E_{02} = 15 \text{ V}, \quad J = 30 \text{ A},$$

$$R_2 = 0,2 \text{ ohm}, \quad X = 10 \text{ ohms}.$$

III. — Le redresseur fonctionnant d'après le schéma de la figure 1 donne une tension sensiblement constante du côté continu pour toute l'échelle des puissances développées; dans nombre de cas, pour la charge d'accumulateurs notamment, il est désirable que cette tension baisse d'une certaine fraction en même temps que croît le débit, afin que soient évitées, dans l'intensité de charge, les fluctuations importantes, susceptibles d'être provoquées par de faibles variations de la tension. La chute de tension correspondante est réalisée, sans perte d'énergie, en insérant dans le circuit primaire du transformateur, suivant la disposition indiquée figure 3, une bobine de self-induction d'une réactance $X_1 = L_1 2\pi f$, L_1 étant le coefficient d'induction relatif à une phase. Soient R_1 , la résistance globale, par phase, du transformateur et de la bobine de self-induction, au primaire. R_2 la résistance, également par phase, au secondaire, et R_3 la résistance du circuit de courant continu sur lequel est branché le redresseur. L'effet produit par les fuites magnétiques du transformateur peut être considéré, de même que dans le cas envisagé au paragraphe 2, comme équivalent à celui résultant de la présence d'une bobine de self-induction de réactance $X_2 = L_2 2\pi f$.

Dans le système de montage de la figure 3, le courant ne peut plus, comme dans le système figure 1, sauter instantanément d'une anode sur l'autre; l'intensité baisse peu à peu à l'une des anodes et croît en même temps progressivement à une autre anode; en outre, pendant l'intervalle de temps durant lequel deux anodes débitent du courant, la tension entre ces deux anodes, de même qu'entre les phases

conjuguées primaires, conserve une valeur nulle; ceci résulte immédiatement du fait que la chute de tension, dans le redresseur proprement dit, est constante pour toutes les intensités.

Si l'on se reporte au schéma de montage de la figure 3 pour la signification des symboles employés et au diagramme qui lui est annexé pour l'indication du sens de rotation des

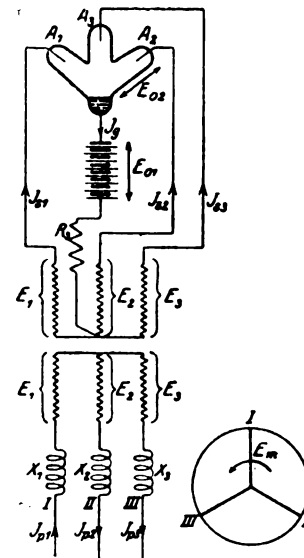


Fig. 3.

phases, on reconnaît que le courant passe en succession de l'anode 3 à l'anode 1 et que, par conséquent, les courants J_{1t} et J_{3t} circulent simultanément dans le circuit.

Supposons que le rapport de transformation du transformateur soit égal à 1 : 1. L'étude de la répartition symétrique des flux pour les deux noyaux conjugués permet de déduire, pour les courants, les relations suivantes

$$J_{p1t} + J_{s1t} = J_{p2t} = J_{p3t} + J_{s3t},$$

et, d'après la loi de Kirchhoff,

$$J_{p1t} + J_{p2t} + J_{p3t} = 0.$$

En tenant compte de ces conditions, il est possible d'écrire, comme suit, les équations des circuits formés par les phases I et III pour cette partie de la période pendant laquelle deux anodes travaillent à la fois :

1° Circuit primaire :

$$E_m \sqrt{3} \sin(\varphi - 30^\circ) - (R_2 + R_1)(J_{1t} - J_{3t}) - X_1 \frac{d(J_{1t} - J_{3t})}{d\varphi} = 0. \quad (8)$$

2° Circuit secondaire :

$$R_3 (J_{1t} + J_{3t}) + X_2 \frac{d(J_{1t} + J_{3t})}{d\varphi} + E_0 = 0. \quad (9)$$

(Les courants primaires pouvant s'exprimer, en l'espèce, directement à l'aide des courants secondaires, on en a profité pour éviter l'emploi des indices p et s).

Pour obtenir l'équation relative à l'intervalle restant de la période, pendant lequel, J_3 s'étant annulé, une seule anode travaille, il convient, tout d'abord, de calculer la tension

E_{1t} : le rapport de transformation étant égal à 1 : 1, cette tension est égale à la tension développée aux bornes de la bobine primaire, sise sur le même noyau.

Les tensions composées entre phases ont respectivement pour expression : $E_m \sqrt{3} \sin(\varphi + 30^\circ)$, $E_m \sqrt{3} \sin(\varphi - 30^\circ)$, $E_m \sqrt{3} \sin(\varphi + 270^\circ)$. Pour les circuits correspondants, on a, en tenant compte de la présence de la réactance X_1 et de la résistance R_1 , les équations suivantes :

$$E_m \sqrt{3} \sin(\varphi + 30^\circ) - R_1 \left(\frac{2}{3} J_{1t} + \frac{1}{3} J_{1t} \right) - X_1 \frac{d \left(\frac{2}{3} J_{1t} + \frac{1}{3} J_{1t} \right)}{d\varphi} = E_{1t} - E_{2t};$$

$$E_m \sqrt{3} \sin(\varphi - 30^\circ) - R_1 \left(\frac{2}{3} J_{1t} + \frac{1}{3} J_{1t} \right) - X_1 \frac{d \left(\frac{2}{3} J_{1t} + \frac{1}{3} J_{1t} \right)}{d\varphi} = E_{1t} - E_{3t};$$

$$E_m \sqrt{3} \sin(\varphi + 270^\circ) = E_{2t} - E_{3t}.$$

Ces équations, jointes à la relation

$$E_{1t} + E_{2t} + E_{3t} = 0,$$

permettent de déduire la valeur de E_{1t} :

$$E_{1t} = E_m \sin \varphi - \frac{2}{3} J_{1t} R_1 - \frac{2}{3} X_1 \frac{dJ_{1t}}{d\varphi}. \quad (10)$$

d'où l'équation du circuit de l'anode A_1

$$E_m \sin \varphi - J_{1t} \left(\frac{2}{3} R_1 + R_2 + R_3 \right) - \frac{dJ_{1t}}{d\varphi} \left(\frac{2}{3} X_1 + X_3 \right) - E_0 = 0. \quad (11)$$

Les trois équations différentielles (8), (9) et (11) comportent les solutions suivantes :

$$J_{1t} - J_{3t} = \frac{\sqrt{3} E_m}{Z} \sin(\varphi - 30^\circ - \alpha) + A e^{-a\varphi}, \quad (12)$$

$$J_{1t} + J_{3t} = B e^{-b\varphi} - \frac{E_0}{R_3}, \quad (13)$$

$$J_{1t} = \frac{E_m}{Z} \sin(\varphi - \gamma) - \frac{E_0}{R_3} + C e^{-c\varphi}, \quad (14)$$

$$Z_1 = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + X_1^2}, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{X_1}{R_1 + R_2}, \quad a = \frac{R_1 + R_2}{X_1},$$

$$e = \text{base des log nat.}, \quad b = \frac{R_3}{X_2}, \quad R = \frac{2}{3} R_1 + R_2 + R_3,$$

$$X = \frac{2}{3} X_1 + X_2, \quad Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{X}{R}, \quad c = \frac{R}{X}.$$

$$\frac{e^{c \left(\frac{5}{6} \pi - \delta \right)} \sin(150^\circ - \gamma) - \sin(\delta - \gamma)}{\sin(\delta - 30^\circ - \alpha) + e^{a \left(\frac{\pi}{6} - \delta \right)} \sin \alpha} = \frac{\sqrt{3} Z}{Z_1} \frac{J_0 \left(e^{c \left(\frac{5}{6} \pi - \delta \right)} - e^{b \left(\frac{5}{6} \pi - \delta \right)} \right) + \frac{E_0}{R_3} \left(1 - e^{b \left(\frac{5}{6} \pi - \delta \right)} \right) + \frac{E_0}{R} \left(e^{c \left(\frac{5}{6} \pi - \delta \right)} - 1 \right)}{J_0 e^{b \left(\frac{\pi}{6} - \delta \right)} + e^{a \left(\frac{\pi}{6} - \delta \right)} - \frac{E_0}{R_3} \left(1 - e^{b \left(\frac{\pi}{6} - \delta \right)} \right)}. \quad (20)$$

équation qui permet de déterminer δ ; la valeur ainsi trouvée pour δ , introduite dans l'une ou l'autre des équations (18) ou

A, B, C sont des constantes d'intégration que l'on détermine ainsi qu'il va être indiqué ci-après.

À l'instant $\varphi = \frac{\pi}{6}$, les tensions des phases 1 et 3 s'égalisent; au même moment, le déplacement du courant de l'anode 3 sur l'anode 1 commence à se produire, et l'on a $J_{1t} = 0$. La valeur moyenne du courant continu étant, quant à présent, une inconnue, on admettra que la valeur J_0 de ce courant, à l'instant $\frac{\pi}{6}$, ne diffère pas de la valeur moyenne.

En introduisant ces conditions dans les équations (12) et (13), on obtient les valeurs de A et de B .

Pour déterminer C , on remarque qu'à l'instant $\varphi = \frac{5}{6} \pi$, la tension entre les anodes 2 et 1 s'annule et le courant commence à se déplacer de l'anode A_1 à l'anode A_2 . Les conditions sont donc analogues à celles du cas précédent et l'on a, à ce moment $J_{2t} = 0$ et $J_{1t} = J_0$; d'où l'on déduit immédiatement la valeur de C en s'aidant de l'équation (14).

Comme inconnue dans les équations (12), (13) et (14) subsiste encore la quantité E_m qu'il n'est possible de déterminer qu'indirectement.

Observons d'abord, à ce sujet, qu'à partir de l'instant $\varphi = \frac{\pi}{6}$ la tension entre les bornes 1 et 3 est dirigée dans le sens du courant J_{1t} ; pendant que J_{1t} croît, J_{3t} décroît jusqu'à s'annuler pour $\varphi = \delta$. A ce moment on a donc

$$J_{1t} - J_{3t} = J_{1t} + J_{3t} = J_{1t}.$$

Les trois équations (12), (13) et (14) peuvent être utilisées pour le calcul de δ . En remplaçant, dans ces équations, les constantes A, B et C , par leurs valeurs trouvées d'après les considérations exposées ci-dessus, et en égalant entre eux les seconds membres des équations (12) et (13), on obtient, toutes réductions faites, l'équation

$$\frac{E_m \sqrt{3}}{Z_1} \left(\sin(\delta - 30^\circ - \alpha) + e^{a \left(\frac{\pi}{6} - \delta \right)} \sin \alpha \right) = J_0 \left(e^{b \left(\frac{\pi}{6} - \delta \right)} + e^{a \left(\frac{\pi}{6} - \delta \right)} \right) - \frac{E_0}{R_3} \left(1 - e^{b \left(\frac{\pi}{6} - \delta \right)} \right). \quad (18)$$

Les équations (14 et (13) donnent de même

$$\frac{E_m}{Z} \left(e^{c \left(\frac{5}{6} \pi - \delta \right)} \sin(150^\circ - \gamma) - \sin(\delta - \gamma) \right) = J_0 \left(e^{c \left(\frac{5}{6} \pi - \delta \right)} - e^{b \left(\frac{5}{6} \pi - \delta \right)} \right) + \frac{E_0}{R_3} \left(1 - e^{b \left(\frac{5}{6} \pi - \delta \right)} \right) + \frac{E_0}{R} \left(e^{c \left(\frac{5}{6} \pi - \delta \right)} - 1 \right). \quad (19)$$

On en déduit, en divisant (19) par (18),

(19), permet, finalement, de déterminer E_m . Pratiquement, on effectuera le calcul avec l'équation (19) attendu que, avec

l'équation (18), des erreurs peu considérables, commises sur δ , entraînent des écarts notables pour E_m .

La valeur de δ ne peut être déduite de l'équation (20) que par la méthode des approximations successives. Pour obtenir une première valeur approchée de cette quantité, on admettra que la bobine de self-induction, supposée intercalée dans le circuit du courant continu, possède une réactance de grandeur infinie. Dans ce cas, pendant l'intervalle de temps $\varphi = \frac{\pi}{6}$ à $\varphi = \delta$, la force électromotrice primaire est tout entière absorbée par la bobine; pendant le restant de la période, celle-ci, par contre, est pratiquement sans action sur la tension, puisque le courant redressé ne présente pas le caractère pulsatoire. C'est, en somme, seulement durant la partie de la période qui s'étend de δ à $\frac{5}{6}\pi$, que la force électromotrice primaire du courant triphasé est utilisée pour produire la tension du courant redressé au secondaire. On a donc, en négligeant la résistance ohmique de l'enroulement primaire du transformateur

$$E_m \int_{\delta_1}^{\frac{5}{6}\pi} \sin \varphi \, d\varphi = [E_0 + J_0 (R_2 + R_3)] \frac{2}{3} \pi.$$

On en déduit

$$\cos \delta_1 = \frac{E_0 + J_0 (R_2 + R_3) \frac{2}{3} \pi - E_m 0,866}{E_m}. \quad (21)$$

En outre, X_2 ayant une valeur infinie et le courant redressé ne présentant pas le caractère pulsatoire, on a

$$Z_1 = \frac{\sqrt{3} E_m \sin (\delta_1 - 30^\circ - \alpha) + e^{\alpha (\frac{\pi}{6} - \delta_1)} \sin \alpha}{1 + e^{\alpha (\frac{\pi}{6} - \delta_1)}}, \quad (22)$$

d'où, en supposant $R_1 = 0$ et par conséquent $\alpha = 90^\circ$,

$$X_1 = \frac{\sqrt{3} E_m \sin (\delta_1 - 120^\circ) + 1}{2}, \quad (23)$$

L'hypothèse faite au sujet de la résistance au primaire est admissible, attendu que R_1 est presque toujours très petit par rapport à X_1 , de sorte que α est très voisin de 90° .

En éliminant E_m entre les équations (21) et (23), il vient, finalement, après réduction

$$\begin{aligned} \sin \delta_1 + \cos \delta_1 \left(\frac{2 \sqrt{3} J_0 X_1}{\pi [E_0 + J_0 (R_2 + R_3)]} + \sqrt{3} \right) \\ = 2 - \frac{3 J_0 X_1}{\pi [E_0 + J_0 (R_2 + R_3)]}, \end{aligned} \quad (24)$$

On tire de cette équation une première valeur approchée, δ_1 , de l'angle de chevauchement. Si l'on introduit cette valeur dans les expressions exponentielles de l'équation (20), on obtient une équation trigonométrique qui permet de déterminer une valeur suffisamment approchée de δ .

La prédétermination des courbes de courant conduit, comme on le voit, à des calculs assez laborieux; l'emploi de la méthode, malgré cet inconvénient, paraîtra cependant avantageux, dans le cas, en particulier, de redresseurs de grande puissance, parce qu'il permettra d'arriver a priori à des résultats exacts, sans être obligé de recourir à des es-

saies après construction. La prédétermination exacte des courbes de courant ne constitue d'ailleurs pas toujours l'objet qu'on se propose dans l'étude des redresseurs. Il s'agit, très souvent, de rechercher, avant tout, la réactance que doit posséder la bobine de self-induction insérée dans le circuit primaire, dans l'hypothèse que la tension du côté courant continu baisse d'une quantité fixée à l'avance, pour une charge déterminée, ce qui revient à admettre comme connu le rapport

$$\frac{E_m}{I_{1,21}} : J_0 (R_2 + R_3) + E_0;$$

comme ladite bobine est la plupart du temps établie de manière à comporter le réglage de la réactance dans de certaines limites, un calcul approché de X_1 est, en général, suffisant.

Les équations ci-dessus fournissent, dans ce cas, une solution particulièrement simple du problème. On déduit δ_1 de l'équation (21) et ensuite X_1 de l'équation (23).

Si l'on désigne par E_{s1} la tension de réactance de la bobine de self-induction X_2 , supposée intercalée dans le circuit de courant continu, et par E'_{s1} , E''_{s1} , E'''_{s1} , celles des bobines telles que X_1 insérées sur le circuit primaire, et correspondant respectivement aux phases 1, 2 et 3, on trouve

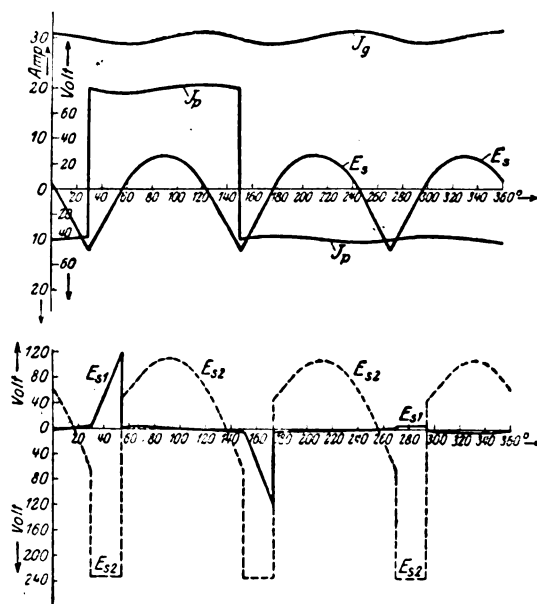


Fig. 4.

que ces tensions peuvent être représentées par les expressions suivantes :

1° Pendant l'intervalle de temps durant lequel les anodes A_1 et A_3 travaillent à la fois, c'est-à-dire pour $\frac{\pi}{6} < \varphi < \delta$,

$$E_{s1} = -R_3 B e^{-b\varphi},$$

$$E'_{s1} = \left(\frac{-b B e^{-b\varphi}}{6} + \frac{\sqrt{3} E_m \cos(\varphi - 30^\circ - \alpha)}{2 Z_1} - \frac{a}{2} \right) e^{-a\varphi} X_1, \quad (28)$$

$$E''_{s1} = -X_1 \left(\frac{b B e^{-b\varphi}}{6} + \frac{\sqrt{3} E_m \cos(\varphi - 30^\circ - \alpha)}{2 Z_1} - \frac{a}{2} \right) e^{-a\varphi} \quad (29)$$

$$E'''_{s1} = X_1 \frac{b B e^{-b\varphi}}{3}. \quad (30)$$

2° Pendant l'intervalle de temps durant lequel l'anode A_1 travaille seule, c'est-à-dire pour $\delta < \varphi < \frac{5}{6}\pi$

$$E_{2t} = X_2 \left(\frac{E_m}{Z} \cos(\varphi - \gamma) - ce^{-c\gamma} C \right). \quad (31)$$

$$E'_{2t} = \frac{2}{3} X_1 \left(\frac{E_m}{Z} \cos(\varphi - \gamma) - ce^{-c\gamma} C \right). \quad (32)$$

$$E''_{2t} = E'_{2t} = -X_1 \frac{1}{3} \left(\frac{E_m}{Z} \cos(\varphi - \gamma) - ce^{-c\gamma} C \right). \quad (33)$$

A titre d'exemple d'application des formules ci-dessus, on a reproduit en figure 4 les courbes de courant et de tension d'un redresseur pour courant triphasé correspondant aux caractéristiques d'établissement suivantes :

$$J_0 = 30 \text{ A}, R_1 = R_2 = 0,1 \text{ ohm}, R_3 = 0,05 \text{ ohm}$$

$$E_{01} = 220 \text{ V}, E_{02} = 15 \text{ V}, X_1 = 1 \text{ ohm}, X_2 = 150 \text{ ohms}.$$

La valeur obtenue, en particulier, pour E_m , à l'aide des équations (26), (20) et (19) est $E_m = 350 \text{ V}$. Si l'on suppose inversement E_m connu et égale à 350 V et si l'on calcule la réactance de la bobine de self-induction X_1 au moyen des équations (21) et (23), on trouve $X_1 = 0,972 \text{ ohm}$ au lieu de $X_1 = 1 \text{ ohm}$, c'est-à-dire une valeur suffisamment approchée pour les exigences de la pratique. — L. D.

Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique ?

La discussion de cette question ayant encore fait l'objet de diverses observations développées au cours de la séance du 3 mars 1922 ⁽¹⁾ de la Société française de Physique, nous donnons, ci-après, le résumé de ces observations.

EXPOSÉ DE M. J. HADAMARD. — L'auteur expose les réflexions que lui ont suggérées les récentes discussions sur ce sujet. S'inspirant de l'exemple, qu'il a rencontré dans son enseignement, de la courbure et de la torsion d'une courbe gauche, lesquelles peuvent être considérées soit comme des grandeurs scalaires, soit comme des vecteurs (composantes binormale et tangentielle de la rotation instantanée du trièdre mobile de Darboux), il remarque que la représentation mathématique des grandeurs physiques n'est pas toujours une représentation numérique, mais peut être et est très souvent, par exemple, une représentation par un vecteur, qu'il faut s'imaginer tracé sur une épure. Dans ces conditions, ce ne sont pas toujours les dimensions « absolues » de la grandeur considérée qu'il faut considérer, c'est-à-dire celles qui interviennent dans le passage de la grandeur en question à un nombre (les seules que l'on écrive d'ordinaire), mais bien ses dimensions « relatives », celles qui interviennent dans la traduction de la même grandeur

par un symbole vectoriel ou par tout autre symbole géométrique analogue. Par exemple, il est bien exact qu'une vitesse a pour dimensions LT^{-1} (dimensions absolues); cependant, si une telle vitesse a été figurée par un vecteur, ce dernier ne changera pas avec l'unité de longueur et ne sera influencé que par le changement de l'unité de temps. Au contraire, une rotation instantanée, laquelle, si on veut la représenter par un nombre, n'exige pas la connaissance de l'unité de longueur, est au contraire influencée par le changement de cette unité en ce qui concerne sa représentation par un vecteur.

Or, si l'on envisage les couples de grandeurs physiques qui se correspondent, comme le rappelait M. Langevin dans la séance du 3 février, il résulte des formules de transformation que donne à leur égard la théorie de la relativité généralisée, que l'une des deux grandeurs ainsi conjuguées l'une à l'autre étant figurée par un vecteur à la manière ordinaire, l'autre ne devrait point l'être par un vecteur V , mais par une petite portion d'un plan perpendiculaire à V ayant une aire proportionnelle à la longueur de V et une orientation (sens de parcours de son contour) en relation avec le sens de V .

S'il en est ainsi, l'une des deux grandeurs intervient, en somme, par ses dimensions relatives à la ligne (dimensions absolues divisées par L); l'autre, par ses dimensions relatives à l'aire (dimensions absolues divisées par L^2).

Les dimensions relatives ainsi obtenues étant différentes si les dimensions absolues sont les mêmes, il est tout naturel de ne pas considérer ces grandeurs comme étant de même espèce.

OBSERVATIONS DE M. D. BERTHELOT. — La question de savoir s'il convient de donner des noms distincts aux unités de champ et d'induction — et plus généralement les problèmes relatifs aux formules de dimensions — ont déjà été discutés à la Société française des Electriciens en janvier et février 1909, puis en 1916 et 1917.

Dans sa communication du 6 janvier 1909, M. Brylinski proposait de donner un nom nouveau à l'une des unités de champ ou d'induction et de confier ce soin à la Commission électrotechnique internationale. Ce double vœu répondait donc aux deux ordres d'idées exprimés par M. Abraham.

Au cours de la discussion, à la séance du 3 mars 1909, Pellat rappela qu'à côté de l'ancienne définition de l'induction empruntée à Maxwell, d'après laquelle le vecteur induction se présente comme la somme du vecteur champ et du vecteur aimantation multiplié par 4π , s'est introduite une définition nouvelle. Pour représenter dans tous les systèmes d'unités la propagation d'une onde électromagnétique

par la relation $V^2 = \frac{1}{\epsilon\mu}$, on a pris pour induction magnétique le vecteur dont l'intensité B permet dans tous ces systèmes de représenter l'énergie du champ magnétique contenue dans un volume dv par

$$dw = \frac{1}{8\pi} BH dv.$$

Ces deux définitions sont différentes, et les deux grandeurs n'ont pas les mêmes dimensions. Pellat ajoutait qu'il donnait pour sa part la préférence à la définition de Maxwell.

M. Brylinski au contraire indiqua que, plus de dix ans auparavant, Potier avait exprimé l'avis catégorique qu'il convenait de renoncer à la définition de Maxwell.

Le problème se posait donc en 1909 à peu près dans les mêmes termes qu'aujourd'hui. Sans doute il convient, comme M. Abraham le dit fort bien, de ne modifier qu'à bon escient la définition de Maxwell; mais il est permis de remarquer que le langage de Maxwell n'est pas toujours un modèle de rigueur scientifique et qu'il se souciait même assez peu de se mettre en contradiction avec lui-même. M. Gouy en donnait encore récemment (*Comptes rendus de*

(1) Pour les discussions antérieures, se reporter aux numéros *R. G. E.*, des 2 juillet et 24 septembre 1921, t. x, p. 13-15 et 398-399; 28 janvier, 25 février, 18 et 25 mars 1922, t. xi, p. 116-118, 268-269, 385-387 et 446-450.

Différents articles ayant trait à cette discussion ont été publiés dans cette Revue. Ce sont :

Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique? par A. LIÉVARD, 25 février 1922, t. xi, p. 261-268.

Quelques remarques concernant les feuillets magnétiques, par A. LIÉVARD, 18 mars 1922, t. xi, p. 382-382.

Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique, par M. E. BRYLINSKI, 18 mars 1921, t. xi, p. 384-485.

Quelques remarques concernant les aimants de volume fini et les courants non linéaires, par A. LIÉVARD, 25 mars 1922, t. xi, p. 424-426.

l'Académie des Sciences, 20 février 1922), un exemple curieux.

Le langage scientifique s'est précisé depuis Maxwell, et l'opinion qu'exprimait il y a vingt ans Potier a gagné du terrain et est devenue de plus en plus générale parmi les techniciens qui s'occupent du calcul des machines et je crois, comme M. Brylinski, que l'heure est venue de la sanctionner. La Commission électrotechnique internationale paraît d'ailleurs parfaitement qualifiée pour ce faire.

Pellat remarquait que la définition de Maxwell fait de μ une grandeur sans dimensions et que dans un système quelconque la vitesse de propagation d'une onde est alors

$$v^2 = \frac{1}{a\epsilon\mu},$$

a étant le coefficient de la loi des actions magnétiques de Coulomb.

Ces considérations concordent avec celles présentées par M. Abraham, qui a indiqué que, dans la relation habituellement adoptée pour définir le courant électrique, e étant la quantité d'électricité,

$$I = \frac{de}{dt},$$

il convenait d'introduire un coefficient λ

$$I = \frac{1}{\lambda} \frac{de}{dt}$$

Au point de vue mathématique ces deux manières de voir sont également plausibles ; mais, certaines considérations physiques portent à donner la préférence à la première formule.

J'ai déjà rappelé en juin 1916 à la Société des Electriciens que Joseph Bertrand, dans sa « Théorie mathématique de l'électricité » publiée en 1890, regardait la définition habituelle de I donnée plus haut » comme une hypothèse douteuse sur l'assimilation d'un courant à un fleuve d'électricité ». Il préconisait une solution qui donnait « une grande élégance à l'analogie et à la différence des deux systèmes d'unités » en définissant le courant comme égal à la masse électrique libre dans l'unité de longueur du circuit.

$$I = \frac{de}{dl}$$

Avec cette convention, le coefficient λ a les dimensions d'une vitesse ; mais il reconnaissait que les physiciens avaient justifié leur manière de voir en remplaçant le courant par le passage dans le fil d'un galvanomètre balistique de la décharge d'une bouteille de Leyde, tandis qu'aucun artifice analogue à celui qui introduit le rapport de la masse au temps ne permet de lui substituer le rapport à la longueur du fil. Une telle constatation est de nature à faire penser aux physiciens que l'opinion courante répond à la réalité, tandis que l'hypothèse de Bertrand n'est qu'une fiction mathématique.

Dans les discussions que je rappelais, la plupart des orateurs tombèrent d'accord que les lois physiques connues ne permettent pas d'exprimer les dimensions des grandeurs électriques ou magnétiques en fonction des seules grandeurs mécaniques fondamentales L, M, T , mais qu'il faut ajouter une nouvelle grandeur pour laquelle on peut choisir, par exemple, la constante diélectrique ϵ , la perméabilité magnétique μ , ou encore, comme le proposait M. Brylinski, la quantité d'électricité Q . On aurait ainsi les systèmes L, M, T, ϵ , ou bien L, M, T, μ , ou bien L, M, T, Q .

De simples considérations d'homogénéité amènent alors à écrire sous la forme suivante les quatre équations pondéromotrices qui expriment les lois des attractions électrostatiques ou magnétiques de Coulomb, la loi électrodynamique d'Ampère, et la loi de Laplace

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{\epsilon} \frac{cc'}{r^2} & f &= \frac{1}{\mu} \frac{mm'}{r^2} \\ f &= \mu \frac{2IdI'dl}{r^2} & f &= \frac{mIdl}{r^2}. \end{aligned}$$

J'ai fait remarquer, dans mon mémoire de 1916, que la réciprocité des phénomènes électriques et magnétiques implique l'existence de deux autres équations pondéromotrices.

On admet actuellement trois sortes de courants électriques : le courant de conduction de Volta, le courant de déplacement de Maxwell ; le courant de convection de Rowland. En magnétisme, on ignore les courants de conduction, mais on connaît les courants de déplacement (dans les transformateurs par exemple) et les courants de convection (déplacements des aimants dans les expériences de rotation d'Ampère et de Faraday). Si l'on désigne par i le courant magnétique $\frac{dm}{dl}$, on doit avoir pour les deux lois supplémentaires

$$f = \epsilon \frac{2idI'dl}{r^2} \quad f = \frac{ci dl}{r^2}.$$

La mise en évidence des facteurs ϵ, μ , montrant comment ces attractions varient suivant le milieu, n'est pas inutile, si l'on se rappelle que Vaschy, cherchant expérimentalement l'influence du milieu dans les attractions électrodynamiques d'Ampère, essaya sans succès, des corps doués de pouvoirs diélectriques variés ; la formule montre en effet qu'il eût fallu faire varier la perméabilité magnétique.

Enfin, au cours de la séance du 1^{er} février 1917, j'ai dit quelques mots de la question soulevée par M. Pomey des grandeurs physiques de dimensions nulles : il en donne pour exemple le coefficient de frottement, rapport de deux forces perpendiculaires l'une à l'autre.

Développant l'idée de Silvanus Thompson, qui avait proposé d'introduire le symbole $\sqrt{-1}$ correspondant à une rotation de 90°, on peut tenir compte des trois directions de l'espace, en substituant au système L, M, T , le système X, Y, Z, M, T . Dans le premier système, une surface est exprimée par L^2 , dans le second par XY, YZ ou ZX . Dans le premier système, un angle est de dimensions nulles ; dans le second, il est représenté par XY^{-1}, YZ^{-1} , ou ZX^{-1} . Dans le premier système, un travail et un couple ont les mêmes dimensions $ML^2 T^{-2}$; dans le second, un travail s'exprime par $MX^2 T^{-2}, MY^2 T^{-2}$ ou $MZ^2 T^{-2}$ et un couple par $MYXT^{-2}, MYZT^{-2}$ ou $MZXT^{-2}$. Cette distinction me permet de montrer que, dans un système d'analogies mécaniques que j'avais développées en regardant la perméabilité diélectrique comme l'analogie d'une densité, l'induction magnétique a les dimensions d'un angle YZ^{-1} et le champ $\frac{MYZT^{-2}}{XYZ}$ celles d'un couple par unité de volume $\frac{MYZT^{-2}}{XYZ}$.

Des considérations de cet ordre présentent une certaine analogie avec celles qu'a développées M. Hadamard sur l'axialité, et montrent que l'introduction de symboles nouveaux judicieusement choisis dans les questions de dimensions, peut permettre de pénétrer plus profondément dans la nature des grandeurs physiques.

(A suivre)

SECTION INDUSTRIELLE

Les fours électriques et l'électrométallurgie d'après les brevets récents (Suite et fin) ⁽¹⁾

Cette deuxième partie résume les brevets visant les fours électriques spéciaux, c'est-à-dire les fours conçus pour une fabrication déterminée et, principalement, les fours à acier et les fours pour la préparation des oxydes d'azote.

Electrodes pour fours électriques. — Les pertes de chaleur par conduction et rayonnement peuvent être grandes dans les électrodes ordinaires, surtout quand le four marche à courant alternatif puisque dans ce cas la matière des électrodes ne donne, par suite de l'effet Kelvin, qu'une mauvaise utilisation en tant que conducteur électrique et que la grande masse de métal favorise la perte de chaleur.

Pour diminuer ces inconvénients, particulièrement dans le cas où l'électrode et le laboratoire du four sont liés par une résistance à l'état fondu, la SOCIÉTÉ ELEKTRO-CHEMISCHE WERKE G. M. B. H. ⁽²⁾ emploie la disposition représentée en figure 7 dans laquelle F représente une

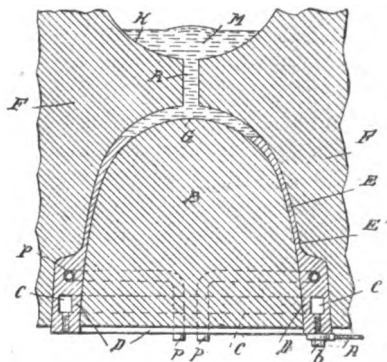


Fig. 7. — Four à électrode creuse diminuant les pertes dues à l'effet Kelvin en courant alternatif.

partie du corps d'un four en matière réfractaire. Un tuyau R partant du creuset H contient un conducteur fondu M et constitue une résistance se terminant à la face supérieure de l'électrode E. Celle-ci a la forme d'une cloche et son intérieur est rempli de matière non conductrice et réfractaire. Vers le bas et à l'extérieur, l'électrode E porte un anneau ou rebord D dans lequel on loge un tuyau de refroidissement P à circulation d'eau entrant par p et sortant par p'. On ménage en outre une cavité C dans cet anneau pour diminuer la

section de métal. Les conducteurs A sont fixés à l'aide de boulons b à l'extérieur de l'anneau D.

En donnant à l'électrode une forme creuse, toute la matière conductrice est utilisée quand on se sert de courant alternatif et la perte de chaleur par conduction est réduite au minimum.

C. MARCELOF ⁽¹⁾ substitue aux électrodes actuellement employées des électrodes creuses qui servent au dégagement des vapeurs métalliques produites dans les fours électriques (le zinc par exemple) et que l'on condense à l'extérieur.

Au charbon ordinairement employé pour constituer les électrodes des fours électriques, O.-R. OLSEN ⁽²⁾ ajoute environ 25 pour 100 de schlich de cuivre ou de fer suivant qu'il s'agit d'un four destiné à la production du cuivre ou du fer. Les électrodes ainsi constituées sont plus économiques que les électrodes ordinaires.

Préparation du fer et de ses dérivés au four électrique. — Le four électrique, P.-F. SARRON ⁽³⁾ est un four électro-convertisseur destiné à la fabrication des aciers. Il a la forme générale d'un convertisseur ordinaire et fonctionne comme tel dans la position verticale. Dans la position horizontale, il est transformé en un four électrique de fusion ou de supraffinage en remplaçant, dans la paroi qui sert de voûte, une partie du garnissage réfractaire par des électrodes mobiles. On fond d'abord dans cette position le mélange de fontes, tournures, déchets, riblons, puis remettant l'appareil en position verticale, on envoie le vent pour obtenir l'affinage. Enfin on reprend la position horizontale pour faire les additions, envoyer à nouveau le courant et parachever l'affinage.

⁽¹⁾ Electrodes pour fours électriques. *Brevet français* n° 506 992, demandé le 22 avril 1919, délivré le 11 juin 1920, publié le 2 septembre 1920, 42 lignes.

⁽²⁾ Matériel d'électrode. *Brevet français* n° 502 943, demandé le 21 août 1919, délivré le 4 mars 1920, publié le 29 mai 1920, 27 lignes.

⁽³⁾ Four électro-convertisseur et procédé de traitement s'y rapportant, pour la fabrication des aciers ordinaires et spéciaux. *Brevet français* n° 503 401, demandé le 26 mai 1917, délivré le 17 mars 1920, publié le 10 juin 1920, 210 lignes, 3 figures.

⁽¹⁾ R. G. E. 25 mars 1922, t. XI, p. 436-441.

⁽²⁾ Electrode de four électrique. *Brevet français* n° 477 123, demandé le 25 juillet 1914, délivré le 29 juin 1915, publié le 24 septembre 1915.

Pour obtenir un ferro-nickel riche en nickel (40 à 80 pour 100) et exempt de silicium et de carbone, la SOCIÉTÉ ÉLECTROMÉTALLURGIQUE FRANÇAISE ⁽¹⁾ traite la garniérîte dans le four électrique représenté en figure 8. La garniérîte, qui est un hydrosilicate de nickel, est

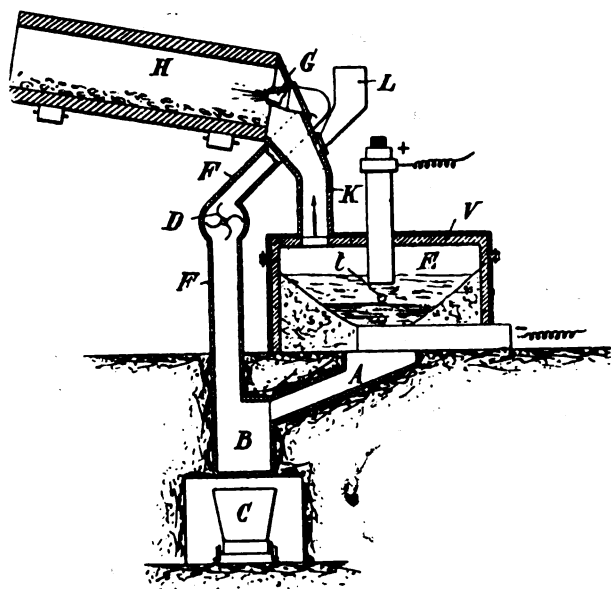


Fig. 8. — Four pour la préparation directe de ferro-nickel en partant de la garniérîte.

introduite dans le four tournant incliné H où elle perd son eau grâce à l'utilisation des gaz chauds du four arrivant par la cheminée K et de l'air chaud soufflé par la buse G à l'aide du ventilateur D et qui s'est échauffé sur le laitier sortant par le trou de coulée t, le canal A et la fosse B. La sole du four est faite de préférence avec de la magnésie agglomérée avec 5 à 15 pour 100 de terre réfractaire. Les parois sont en minerai refroidi par un water-jacket, par exemple. Le charbon nécessaire à la réduction est introduit en L. On règle la quantité de charbon de manière à ne laisser dans le métal qu'une proportion déterminée de fer.

R. GILSON ⁽²⁾ prépare l'acier au four électrique (à électrodes ou à induction) en traitant les battitures qui sont actuellement un sous-produit métallurgique et ont sensiblement comme composition FeO . La réduction s'opère au moyen d'une quantité correspondante de carbone et la dépense de courant est réduite au minimum, car la réduction est beaucoup plus facile que

celle des oxydes naturels et il n'est pas nécessaire d'ajouter de fondants.

Pour obtenir directement, en partant des minerais de fer, soit l'acier, soit les alliages spéciaux, A.-M. TEIXEIRA ⁽¹⁾ effectue dans un seul appareil la réduction du minerai et l'affinage du métal fondu. Cet appareil est une combinaison d'un haut fourneau et d'un groupe de fours électriques entourant la base de ce dernier et reliés entre eux par la sole du haut fourneau et par des canaux latéraux à l'extérieur de cette sole. Chacun des fours électriques a un ciel séparé et amovible. Chacun des canaux a également un ciel séparé et amovible présentant des portes pour l'introduction des matières de réduction, de décarburation, d'affinage et d'alliage. La profondeur de ces canaux est moindre que celle des soles adjacentes des fours électriques et du haut fourneau, ce qui permet de remédier à l'obstruction d'un canal, le métal fondu des fours adjacents s'écoulant à travers les passages latéraux dans le four dont le canal est bouché et venant ainsi fondre ou déplacer la matière solide cause de l'obstruction. Les électrodes verticales sont écartées à une certaine distance de la descente du minerai de façon à ne pas courir le risque d'être brisées par la chute de la charge, ou d'être détruites par contact avec l'oxyde métallique.

La préparation de l'acier au four électrique se fait en deux phases : 1° phase d'oxydation pendant laquelle on ajoute de l'oxyde de fer et de la chaux aux riblons. La plus grande partie du carbone, du silicium, du manganèse et du phosphore est oxydée, les trois derniers corps passant dans le laitier ; 2° phase de désoxydation pendant laquelle on ajoute le ferrosilicium et le ferromanganèse ainsi qu'un laitier de chaux, sable et spath fluor.

Pendant la première phase, le laitier est tout à fait fluide, l'atmosphère du four est claire et la voûte et les parois du four s'échauffent rapidement par rayonnement de la chaleur de l'arc. Dans la deuxième phase, le laitier renfermant une forte proportion de chaux, l'atmosphère du four se remplit de fumées ou de particules calcaires qui se déposent sur les parois internes du four moins chauffées que précédemment par suite de la diminution du rayonnement. Mais lors de la première phase suivante, les dépôts basiques en présence des matières réfractaires acides vont donner une combinaison facilement fusible par le rayonnement de l'arc et la garniture du four se désagrègera.

V. STOBIE ⁽²⁾ évite cet inconvénient en réservant un four électrique à la fusion oxydante et en coulant le métal

⁽¹⁾ Procédé et appareil permettant d'obtenir directement et économiquement au four électrique un ferro-nickel riche, de teneur pratiquement constante. *Brevet français n° 508 508*, demandé le 14 mai 1918, délivré le 26 juillet 1920, publié le 14 octobre 1920, 201 lignes, 1 figure.

⁽²⁾ Procédé de fabrication directe de l'acier au four électrique. *Brevet français n° 506 853*, demandé le 22 février 1919, délivré le 8 juin 1920, publié le 31 août 1920, 116 lignes.

⁽¹⁾ Perfectionnements aux fours électriques. *Brevet français n° 499 654*, demandé le 15 mai 1919, délivré le 25 novembre 1919, publié le 18 février 1920, 266 lignes, 4 figures.

⁽²⁾ Perfectionnements dans la fabrication de l'acier électrique. *Brevet français n° 500 179*, demandé le 30 mai 1919, délivré le 9 décembre 1919, publié le 4 mars 1920, 149 lignes.

libéré du laitier dans un deuxième four de finissage où le métal est désoxydé et fini à la manière ordinaire. Ce deuxième four peut être de plus petites dimensions que le premier.

Pour préparer électriquement les aciers spéciaux, John Mc. CONNELL ⁽¹⁾ emploie une poche à garniture acide pour recevoir le métal fondu provenant d'un four Martin ou d'un convertisseur Bessemer. Pendant cette coulée, le métal d'alliage (ferrochrome si l'on veut obtenir l'acier chromé) est ajouté à l'état pulvérisé. On laisse dans la poche un peu de laitier pour conserver sa chaleur au métal et on ajoute de la chaux pour avoir un laitier basique après retrait du premier laitier du métal. On fait passer le courant électrique pendant environ quinze minutes après que toute la charge est passée dans la poche.

Dans les fours électriques à acier les mieux conduits, il est difficile d'atteindre le nombre de cent coulées sans réparations partielles. Il en résulte des arrêts dans la production et des frais importants (main-d'œuvre, matières réfractaires, coke, etc.)

Afin d'obtenir une augmentation de la durée de ces fours, A.-P. HEYEN ⁽²⁾ utilise le pouvoir athermane des gaz. La figure 9 montre le dispositif employé. Dès que les arcs sont bien stables, on introduit par le milieu

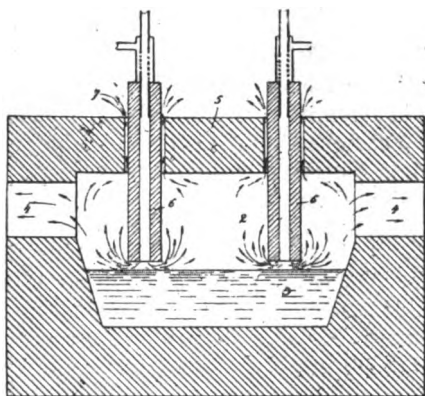


Fig. 9. — Four à acier à électrodes creuses pour injection de gaz.

des électrodes pendant la période oxydante une quantité de gaz quelconque (gaz d'éclairage, gazogène ou huile) avec la quantité d'air suffisante pour produire une flamme à combustion complète et, pendant la période de désoxydation et de désulfuration, une plus grande quantité de gaz combustible pour la même

quantité d'air que précédemment. La combustion étant incomplète, il se dégage une grande quantité de fumée formant une couche athermane qui préserve le four des hautes températures de l'arc. Pendant la marche avec gaz, l'arc est trois fois plus long que normalement pour la même intensité de courant. La durée du four est triplée et on peut effectuer 300 opérations sans réparations.

On réalise également une économie sur la consommation des électrodes parce que les gaz nourrissent l'arc et parce que ces gaz empêchent l'usure des électrodes à la partie sortant du four. Enfin, on diminue la consommation de courant puisqu'on supprime les causes de déperdition de chaleur et que les arrêts du four sont moins nombreux.

Le four électrique DIEGO DE LUCA ⁽¹⁾ est particulièrement destiné à fabriquer la fonte au moyen des tournures et des déchets. Il est à courant triphasé et comprend un châssis métallique garni de briques réfractaires et d'une deuxième maçonnerie en matières réfractaires convenables, l'espace entre la maçonnerie et les tôles étant rempli de matières isolantes. Des dispositifs particuliers sont prévus pour la fixation des électrodes, le refroidissement des supports de celles-ci, le soulèvement du couvercle du four ainsi que pour le canal de coulée.

Pour la réduction du minerai de fer en fer métallique, G.-J. STOCK ⁽²⁾ utilise un four électrique dans lequel un pyromètre commande l'appareil d'alimentation. Si la température s'élève, la résistance du rhéostat du moteur réglant l'alimentation s'abaisse et détermine une augmentation de la vitesse d'alimentation. C'est le contraire qui se produit quand la température s'abaisse. De cette manière, la température du four peut être maintenue constante à n'importe quelle valeur.

Préparation des oxydes d'azote au four électrique. — Dans le traitement de l'air au four électrique, le rendement en oxyde azotique (AzO) est d'autant plus élevé que les arcs sont plus étendus. Le brassage a toujours pour effet de diviser et d'étirer en minces filets, au sein du gaz froid, les portions du gaz qui ont été portées à l'incandescence par le passage du courant. Pendant le temps très court où ces filets gazeux conservent leur incandescence, il se produit à travers leur surface un phénomène actif de diffusion : de l'oxyde azotique se transporte dans la région froide ambiante où il ne peut plus rétrograder en azote et en oxygène. Il se reforme constamment de nouvelles quantités d'oxyde azotique au sein du filet gazeux incan-

⁽¹⁾ Procédé de fabrication d'acier électrique. *Brevet français n° 502 489*, demandé le 9 août 1919, délivré le 23 février 1920, publié le 15 mai 1920, 307 lignes, 3 figures.

⁽²⁾ Perfectionnements aux fours électriques pour la fabrication de l'acier. *Brevet français n° 502 820*, demandé le 19 août 1919, délivré le 27 février 1920, publié le 27 mai 1920, 235 lignes, 2 figures.

⁽¹⁾ Four électrique avec canal de coulée. *Brevet français n° 503 585*, demandé le 9 septembre 1919, délivré le 20 mars 1920, publié le 14 juin 1920, 258 lignes, 8 figures.

⁽²⁾ Perfectionnements à la production du fer au four électrique. *Brevet français n° 509 820*, demandé le 11 février 1920, délivré le 26 août 1920, publié le 20 novembre 1920, 109 lignes, 1 figure.

descent tant que sa température reste suffisamment élevée.

Dans le but d'augmenter cette diffusion et d'obtenir ainsi un rendement élevé en oxyde azotique, E. MACK⁽¹⁾ utilise le four électrique représenté en figure 10. Le gaz à traiter arrive sous pression (flèches en traits pleins) par les conduites a et a' et les boîtes de distribution b

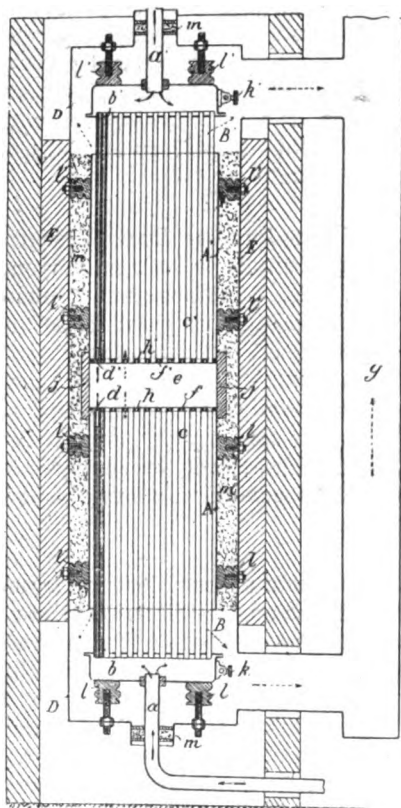


Fig. 10. — Dispositif facilitant la diffusion des gaz dans les fours destinés à la préparation des oxydes d'azote.

et b' dans les tubes métalliques c et c' disposés parallèlement à l'intérieur de deux enveloppes cylindriques A et A' et débouche par les petits orifices d et d' dans l'enceinte de réaction e.

Le gaz traité (flèches pointillées) est évacué en sens inverse par les orifices f et f', circule autour des tubes c et c' dans les enveloppes A et A' en donnant partiellement sa chaleur au gaz entrant, sort par les ouvertures B et B', puis est collecté par la conduite g. Les électrodes sont constituées par les plaques métalliques perforées h et h' à travers lesquelles débouchent les tubes c et c'. L'enceinte de réaction e est limitée latéralement par des parois non conductrices j. Le tout est disposé dans une enveloppe métallique D munie de revêtements E en briques calorifuges. Des prises de

courant K et K' amènent le courant aux électrodes par l'intermédiaire des tubes c et c'. Les isolateurs l et l' séparent les pièces métalliques à haute tension de l'enveloppe métallique D. Chacune des conduites a et a' est constituée sur une petite longueur par un manchon isolant en porcelaine.

En opérant sur un mélange d'air et de vapeur d'eau, on produit, en même temps que l'oxyde azotique, de l'azotate et de l'azotite d'ammonium. En abaissant suffisamment la densité de la décharge et la température finale, on obtient de l'ozone en partant de l'oxygène ou de l'air. Le traitement de la vapeur d'eau, de préférence mélangée à un grand excès d'hydrogène (pour éviter la formation d'ozone), donne de l'eau oxygénée. Un mélange d'azote, d'hydrogène et de carbone (hydrocarbure) donne l'acide cyanhydrique.

On sait que, par l'action de l'arc électrique sur le mélange d'oxygène et d'azote, il se produit d'abord l'oxyde AzO qui, au refroidissement et en présence de l'oxygène en excès, s'oxyde en anhydride nitreux Az^2O^3 , puis en peroxyde d'azote AzO^2 , cette oxydation complète se faisant en un temps pouvant atteindre de 1 à 3 minutes.

Pour récupérer le peroxyde d'azote par refroidissement du mélange gazeux, qui n'en renferme guère que 1 pour 100 en volume, il faut abaisser la température à $-80^{\circ}C$ si l'on veut obtenir sa liquéfaction à peu près complète. Mais comme le peroxyde d'azote se solidifie à $-70^{\circ}C$ il arrive que les serpentins s'obstruent.

On évite bien cet inconvénient en introduisant dans le serpentín de condensation un liquide comme, par exemple, le tétrachlorure de carbone formant avec le peroxyde d'azote un liquide non congelable ; mais, dans ce cas, il faut ensuite séparer les deux corps par distillation fractionnée.

P.-A. GUYE⁽¹⁾ emploie la solution plus simple qui consiste à régler le temps d'oxydation de AzO , de telle façon qu'il reste encore une certaine quantité de Az^2O^3 lorsque le mélange gazeux arrive au condenseur. L'anhydride nitreux Az^2O^3 est encore liquide au-dessous de $-100^{\circ}C$ et, dissolvant facilement le peroxyde d'azote, il suffit d'une proportion relativement faible de Az^2O^3 pour éviter la solidification.

On recueille les vapeurs nitreuses liquéfiées (mélange de Az^2O^3 et de AzO^2) dans le condenseur. Il suffit de les traiter par l'oxygène pour les transformer totalement en peroxyde d'azote, ou bien par AzO pour les transformer totalement en anhydride nitreux ou bien encore par l'eau et l'oxygène sous pression pour les transformer en acide nitrique concentré.

Pour régler le temps d'oxydation de AzO , on divise la chambre en compartiments cloisonnés qu'on peut à volonté introduire ou retirer du circuit gazeux.

⁽¹⁾ Four électrique pour le traitement des gaz. *Brevet français n° 502 591*, demandé le 7 septembre 1914, délivré le 25 février 1920, publié le 19 mai 1920, 282 lignes, 3 figures.

⁽¹⁾ Perfectionnement au procédé de récupération des oxydes d'azote produits par l'arc électrique dans un mélange d'azote et d'oxygène secs. *Brevet français n° 502 884*, demandé le 26 mai 1916, délivré le 3 mars 1920, publié le 28 mai 1920, 148 lignes.

Pour récupérer les vapeurs nitreuses (peroxyde d'azote pur ou mélangé de Az^2O^3) diluées dans un excès de gaz inertes secs, comme on l'obtient par l'action de l'arc électrique sur l'air, P.-A. GUYR⁽¹⁾ conduit le mélange dans une tour à grande surface de ruissellement. Le liquide de lavage (non congelable et dissolvant les vapeurs nitreuses, tel que le tétrachlorure de carbone additionné d'hexachlorure C^2Cl^6 ou de tétrabromure CBr^4 ou encore l'anhydride nitreux sec) arrive par la partie supérieure à une température inférieure à $-20^{\circ}C$ et sort par le bas chargé de vapeurs nitreuses. On l'en débarrasse par distillation ou cristallisation par refroidissement et il retourne à la tour après régénération.

Quand on emploie l'anhydride nitreux, le liquide obtenu (mélange de Az^2O^3 et Az^3O^4) peut être employé directement pour produire de l'anhydride nitreux par traitement avec le bioxyde d'azote AzO , ou du peroxyde d'azote Az^2O^4 par traitement avec l'oxygène, ou de l'acide nitrique concentré (à plus de 90 pour 100 AzO^3H) par traitement avec l'eau et l'oxygène sous pression (3 à 7 kg : cm^2).

En partant comme liquide du tétrachlorure de carbone, on obtient, dans le premier cas, une solution d'anhydride nitreux; dans le second, une solution de peroxyde d'azote et, dans le troisième cas, de l'acide nitrique concentré qui se sépare par différence de densité.

Le procédé de fabrication des oxydes d'azote de la SOCIÉTÉ F. GROS ET BOUCHARDY⁽²⁾ consiste à faire passer l'arc dans une atmosphère maintenue sous pression (environ 5 kg : cm^2) et constituée par de l'air ou un mélange d'oxygène et d'air. Les oxydes d'azote produits sont isolés de la masse gazeuse par liquéfaction et cette dernière est renvoyée par un ventilateur dans la chambre de réaction après adjonction d'une nouvelle quantité d'air ou de mélange d'oxygène et d'air, de façon à maintenir la pression constante.

Le four électrique E. LELU⁽³⁾ est destiné à la production des oxydes d'azote. Il est caractérisé par l'emploi, comme électrodes, de tubes cylindriques droits placés en croix et refroidis par circulation d'eau. L'arc s'amorce à leur croisement et s'allonge en un plan perpendiculaire à celui dans lequel il a éclaté. Des arcs multiples peuvent être disposés dans la chambre de réaction. La fixation instantanée des oxydes est obtenue

par une multiplication des surfaces de refroidissement en faisant passer les gaz sous une grande vitesse par l'orifice étroit d'un dispositif d'où l'eau s'écoule sans pression. Ce dispositif est placé sous la flamme de la chambre de réaction.

Dans les fours électriques à flammes en forme de disques utilisés pour l'oxydation de l'azote, la SOCIÉTÉ NORSK HYDRO-ELEKTRISK KVAELSTOFKARTIESELSKAB⁽¹⁾ introduit l'air par des conduites à section transversale conique dont la partie rétrécie est disposée près de la chambre de flamme. On évite ainsi le surchauffage électrique des parois réfractaires du four.

Dans les fours électriques employés pour l'oxydation de l'azote et qui comportent un arc étalé par voie magnétique, les gaz sont introduits par des trous dirigés vers le disque de flamme et sortent à la périphérie ou encore sont introduits par la périphérie et sortent par la partie centrale du four.

Dans un four Birkeland-Eyde, la SOCIÉTÉ NORSK HYDRO-ELEKTRISK KVAELSTOFKARTIESELSKAB⁽²⁾ obtient une réaction

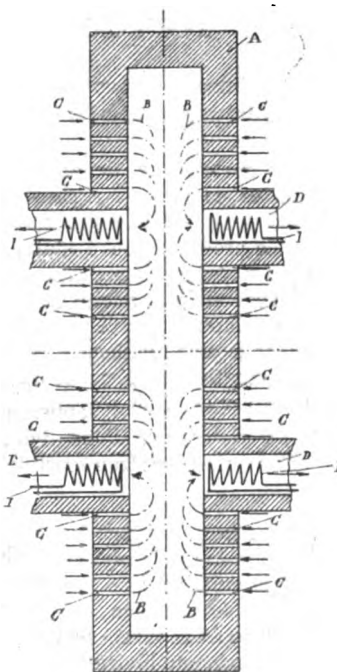


Fig. 11. — Four Birkeland-Eyde modifié, pour faciliter la réaction et le refroidissement des gaz dans l'oxydation de l'azote.

et un refroidissement bien meilleurs en disposant un certain nombre d'ouvertures de sortie entre le centre et la périphérie, ainsi que le représente la figure 11. Les

⁽¹⁾ Procédé de récupération des vapeurs nitreuses diluées dans un mélange de gaz inertes secs. *Brevet français n° 502885*, demandé le 27 mai 1916, délivré le 3 mars 1920, publié le 28 mai 1920, 105 lignes.

⁽²⁾ Procédé de fabrication des oxydes d'azote par l'arc électrique. *Brevet français n° 504775*, demandé le 10 juin 1918, délivré le 22 avril 1920, publié le 15 juillet 1920, 57 lignes, 1 figure.

⁽³⁾ Four électrique pour réactions endothermiques sur les gaz. *Brevet français n° 505398*, demandé le 23 septembre 1918, délivré le 5 mai 1920, publié le 29 juillet 1920, 609 lignes, 14 figures.

⁽¹⁾ Dispositif pour l'introduction d'air dans les fours électriques à flammes en forme de disques. *Brevet français n° 500406*, demandé le 5 juin 1919, délivré le 16 décembre 1919, publié le 12 mars 1920.

⁽²⁾ Perfectionnements aux fours à arcs électriques. *Brevet français n° 501028*, demandé le 24 juin 1919, délivré le 15 janvier 1920, publié le 31 mars 1920, 94 lignes, 1 figure.

trajets des gaz sont beaucoup plus courts et le diamètre du four peut être réduit. On peut, en outre, augmenter la rapidité de refroidissement, et, par suite, le rendement, en disposant dans les orifices de sortie des tubes réfrigérants 1.

Soudure électrique. — Pour effectuer une soudure autogène par arc avec emploi d'une électrode métallique, M.-F. CHASTANG, A. LAUVERGEON et J.-M. PRADAIROL ⁽¹⁾ enrobent la baguette de métal d'un fondant (silice, magnésie, alumine, chaux, etc). Pendant la soudure, le fondant qui est plus fusible que le métal entoure complètement celui-ci et le protège contre l'action de l'air. Cet enrobage sert en même temps de calorifuge et on peut ainsi souder avec une faible intensité. L'arc ne nécessite que 20 à 25 v et une densité de courant de 5 à 10 A : mm² de section d'électrode.

On sait qu'une électrode pour la soudure à l'arc électrique, telle qu'une tige de fer ou d'acier, peut être amenée à fondre plus uniformément et à produire une

soudure avec moins d'oxydation en recouvrant la surface de cette électrode d'une substance régulatrice de soudure telle que la chaux.

Pour que ce revêtement adhère bien à l'électrode, la SOCIÉTÉ WILSON WELDER AND METALS COMPANY ⁽¹⁾ procède de la manière suivante :

On lamine du fer ou de l'acier en une tige d'environ 5 mm de diamètre, on la décape à l'acide sulfurique chaud pour enlever les battitures de sa surface, puis on l'humecte d'eau acidulée sulfurique jusqu'à production d'une couche de rouille. On la plonge ensuite à diverses reprises dans un lait de chaux chauffé en la séchant après chaque immersion. On chauffe la tige à 150°C et on l'étire en plusieurs passes de façon à l'amener à un diamètre d'environ 3,7 mm. La couche de chaux s'incorpore alors à l'oxyde de fer et l'électrode ainsi obtenue peut subir toute courbure, torsion, frottement sans que son revêtement se détache.

L. JUMAU.

Revue, analyses et informations

Un nouveau système de protection contre les surintensités ⁽²⁾.

La protection des surtensions, depuis qu'on en connaît mieux l'origine et les conditions, a passé quelque peu à l'arrière-plan devant les problèmes que soulèvent la continuité du service et la protection des installations contre les surintensités, dans les réseaux intercentraux actuels.

Un système de sélection automatique est un besoin urgent pour la solution de ce double problème et, de plus, ce système doit fonctionner le plus rapidement possible.

Le dispositif différentiel de Merz et Price a le double inconvénient d'entraîner des frais d'établissements considérables, par suite de la présence d'une ligne auxiliaire à basse tension et, en outre, d'être trop sensible aux courants de capacité.

PRINCIPE ET DESCRIPTION DU SYSTÈME LYPRO. — Ce système, outre la sélectivité absolue et la rapidité du sectionnement, s'inspire des principes suivants :

- 1° Contrôle propre du système lui-même en service normal, au point de vue de la sûreté du fonctionnement;
- 2° Suppression de lignes auxiliaires spéciales;
- 3° Suppression d'appareils et de complications de ligne qui introduisent leurs accidents propres (par exemple, appareils insérés entre la haute et la basse tension);
- 4° Suppression de dispositifs et d'appareils donnant naissance à des surtensions dangereuses pour l'isolement réduit entre des conducteurs de même phase, au moment de fortes surintensités dans la section (bobines de self-induction du système à conducteurs doublés);

⁽¹⁾ Perfectionnements apportés à la soudure autogène des métaux par l'arc électrique. *Brevet français* n° 508 955, demandé le 2 mars 1918, délivré le 5 août 1920, publié le 28 octobre 1920, 85 lignes.

⁽²⁾ C. FELDMANN et M. HOCHSTADTER. *E. T. Z.*, 13 octobre 1921, t. XIII, p. 1 154-1 161, 10 000 mots, 12 fig.

5° Opération du déclenchement pendant la période de naissance de la surintensité;

6° Simplicité et élimination des déclenchements intempestifs pour des surintensités traversant la section, sans qu'il existe un défaut;

7° Indépendance du système de la position et de la nature du défaut.

Le principe du système est représenté dans les schémas des figures 1 et 2.

Le système ne s'applique pas aux canalisations existantes. Il exige une légère modification des conducteurs, consistant

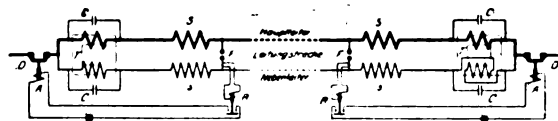


Fig. 1. — Schéma général du système hydro-Hauptleiter, Nebenleiter, conducteurs principal et auxiliaire; Leitungstrecke, section de réseaux.

à isoler légèrement un des fils du câble aérien et souterrain; mais il s'applique évidemment aux lignes à conducteurs doublés. Comme ce fil isolé participe à la propagation du courant, le prix de cette isolation constitue la seule dépense supplémentaire. Ce fil peut être disposé au centre ou à la périphérie du toron.

Chaque section de la ligne est formée de conducteurs de ce genre, le fil isolé étant connecté électriquement au reste du câble à chaque extrémité de la section. Dans les conducteurs pleins reliant deux sections successives sont insérés des disjoncteurs O. Avant la réunion du fil isolé à la masse du conducteur, à chaque extrémité de la section, le courant de ligne traverse les deux enroulements d'un transforma-

⁽¹⁾ Electrode pour le soudage à l'arc électrique et son procédé de fabrication. *Brevet français* 508 349 demandé le 12 janvier 1920, délivré le 21 juillet 1920, publié le 7 octobre 1920, 139 lignes.

teur T, insérés respectivement dans le fil isolé et dans le reste du conducteur. Les figures ne représentent qu'une phase, le système fonctionnant d'ailleurs d'une façon indépendante sur chaque phase.

Dans une section ainsi aménagée, on peut établir de diverses façons un équilibre qui se trouvera rompu par la naissance d'un défaut, ce qui entraînera le fonctionnement de relais R commandant les bobines de déclenchement A du disjoncteur.

On peut, par exemple, disposer avant le transformateur T deux self-induction S et s et un éclateur F. En temps normal, la tension entre les bornes de l'éclateur correspondra à la tension provoquée par le transformateur T (100 à 200 v). Dès qu'un défaut apparaît, un choc d'onde de tension se produit entre le conducteur principal et le fil isolé; cette onde est réfléchiée par les self-induction S, s sur l'éclateur F et, comme sa tension est de l'ordre de grandeur de la tension en ligne, une décharge aura lieu. L'expérience a démontré que la tension fournie par le transformateur suffit pour entretenir un arc en F, quand une décharge s'est produite. Le courant correspondant actionnera le relais R. L'onde de choc ne peut pas, d'ailleurs, se propager aux sections voisines, car elle est détruite au point extrême commun de la section. Des condensateurs ou des résistances C servent à shunter et à protéger les enroulements du transformateur T. Ce dispositif serait excessivement sensible.

Un autre genre d'équilibre est représenté par la figure 2,

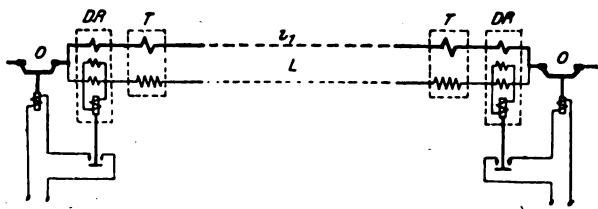


Fig. 2. — Montage à courant équilibré.

et consiste à réaliser une compensation exacte des courants dans la section à protéger.

Le problème se ramène à créer un rapport constant entre les courants dans le conducteur principal et le fil isolé, malgré la présence des tensions introduites par le transformateur T et malgré les variations de charge. L'expérience a montré qu'avec une construction appropriée de transformateur un état d'équilibre extrêmement précis est réalisable, comme si le transformateur n'existait pas. On exposera ci-après la théorie de cet équilibre.

Il en résulte que les transformateurs doivent être établis spécialement pour chaque section et que leur rapport de transformation doit être dans un rapport bien déterminé avec le rapport des impédances des deux parties du conducteur. Dans ces conditions, la tension entre le conducteur principal et le fil isolé de la section reste pratiquement constante et toute altération de l'état normal de la ligne entraîne la rupture d'équilibre de cette tension. Les divers modes de connexion des transformateurs conduisent chacun à une solution différente, mais dans tous les cas, des relais différentiels DR, réglés pour un rapport constant des courants, commandent les disjoncteurs O.

Ce système répond aux desiderata indiqués plus haut. Il se contrôle lui-même en ce que toute rupture de l'équilibre des tensions, provoquée par un accident aux appareils eux-mêmes, entraîne le déclenchement des disjoncteurs.

Il ne peut se produire de surtensions du fait des appareils de protection, parce que les transformateurs sont saturés pour une surintensité de 10 pour 100 du courant normal.

L'isolement des appareils, qui sont tous à un potentiel peu différent de celui de la phase protégée, est celui des appareils basse tension, sauf à les isoler de la terre pour la tension de phase.

L'efficacité du système reste la même que le défaut se produise à la fois sur les deux conducteurs de phase ou sur l'un d'eux seulement.

THÉORIE DE L'ÉQUILIBRE DES COURANTS DANS LE SYSTÈME LYPRO.

— 1. *Connexion plus-moins*. — Dans ce dispositif, les transformateurs T, t qui sont de dimensions voisines de celles d'un transformateur d'intensité, mais avec alimentation extérieure de leurs deux circuits (fig. 3), ont leurs enroulements

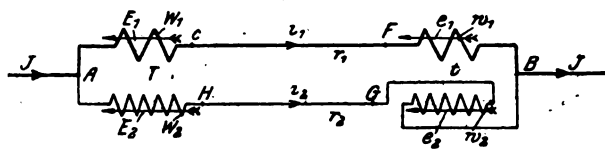


Fig. 3. — Montage plus-moins.

parcourus respectivement par des courants de même sens (connexion plus, T) et de sens contraires (connexion moins, t).

Le problème à résoudre est de déterminer les caractéristiques magnétiques et électriques de façon que, entre des limites aussi étendues que possible de la charge, le rapport du courant principal i_1 au courant auxiliaire i_2 reste constant.

On admet que le rapport

$$\frac{i_1}{i_2} = a \quad (1)$$

est égal au rapport inverse des impédances des deux conducteurs, ce que l'expérience a confirmé.

Donc, il faut que :

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1} = a = \text{constante.} \quad (2)$$

Cette condition étant remplie, les relais différentiels insérés aux extrémités de la section et réglés sur cet équilibre actionneront les disjoncteurs en cas de défaut sur la section.

Si l'on désigne par

$$\frac{W_2}{W_1} = P, \quad \frac{w_2}{w_1} = p,$$

le rapport de transformation de T et t; par Q et q les sections du fer, les flux magnétiques sont :

$$\begin{aligned} \text{dans le transformateur T (plus)} \quad \Phi &= \beta Q (i_1 W_1 + i_2 W_2) \\ \text{t (moins)} \quad \varphi &= \beta q (i_1 w_1 - i_2 w_2) \end{aligned} \quad (3)$$

et pour une fréquence donnée, les forces électromotrices secondaires sont

$$\begin{aligned} E_2 &= \gamma Q W_2 (i_1 W_1 + i_2 W_2), \\ e_2 &= \gamma q w_2 (i_1 w_1 - i_2 w_2), \end{aligned} \quad (4)$$

β et γ étant des constantes, dans la mesure où la perméabilité du fer peut être considérée comme invariable.

Si l'on tient compte des relations (1) et (2), on obtient

$$\left. \begin{aligned} E_2 &= \gamma Q i_1 W_1^2 \left(1 + \frac{p}{a}\right) P, \\ e_2 &= \gamma q i_1 w_1^2 \left(1 - \frac{p}{a}\right) p, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

avec

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= \frac{E_2}{p}, \\ e_1 &= \frac{e_2}{p}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Les flèches empennées de la figure 3 indiquent le sens des forces contre-électromotrices. On a supposé qu'elles ont le même sens dans le primaire et le secondaire des deux transformateurs, du fait d'enroulements supposés effectués dans le même sens. Dans le transformateur *t*, on a interverti les connexions extrêmes (fig. 3); on suppose la dispersion négligeable pour simplifier le calcul.

La loi de Kirchhoff donne alors, pour le circuit fermé, entre A et B :

$$E_2 - E_1 - (e_1 + e_2) = 0, \quad (7)$$

qui, en introduisant les valeurs données par (5) (6), devient

$$Q W_1^2 (P - 1) \left(1 + \frac{p}{a}\right) = q w_1^2 (p + 1) \left(1 - \frac{p}{a}\right). \quad (8)$$

La chute de tension en ligne a disparu dans la relation (8), c'est-à-dire que l'équilibre est indépendant de la longueur de la ligne, il subsiste pour une longueur nulle de la ligne; c'est-à-dire pour les deux transformateurs seuls.

Suivant les hypothèses qu'on fera sur les grandeurs de la relation (8), on aura diverses solutions.

On supposera ici que les sections de fer sont égales, donc $Q = q$, ainsi que les inductions,

$$\frac{\Phi}{Q} = \frac{\varphi}{q}, \quad (9)$$

ce qui fait disparaître β , γ , pour toutes perméabilités. On a alors, d'après (2) et (3),

$$i_1 W_1 + i_2 W_2 = i_1 w_1 - i_2 w_2,$$

ou

$$W_1 \left(1 + \frac{p}{a}\right) = w_1 \left(1 - \frac{p}{a}\right). \quad (10)$$

En désignant par α le rapport du nombre de spires,

$$\alpha = \frac{W_1}{w_1}, \quad (11)$$

on obtient

$$\alpha = \sqrt{\frac{(a-p)(p+1)}{(a+p)(P-1)}}. \quad (12)$$

En tenant compte de (10)

$$\alpha = \frac{a-p}{a+p}. \quad (13)$$

ou

$$\alpha = \frac{p+1}{p-1}, \quad (13 \text{ bis})$$

d'où l'on déduit facilement que pour $a > 1$, il faut nécessairement

$$p < \frac{a-1}{2},$$

pour que P conserve une valeur positive.

De l'équation (13 bis) on tire

$$P = \frac{2a + p(a-1)}{a-1-2p}. \quad (14)$$

De l'équation (13 bis), en introduisant les nombres de spires, on tire

$$W_2 - W_1 = w_2 + w_1$$

ou

$$W_2 - w_2 = W_1 + w_1. \quad (15)$$

Donc, la différence des nombres de spires secondaires doit être égale à la somme des nombres de spires primaires.

On voit aisément, d'autre part, qu'entre les limites

$$\left. \begin{aligned} p &< \frac{a-1}{2}, \\ p &> \frac{2a}{a-1}, \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

il y a toujours une solution, et entre ces limites seulement. Les conditions, en ce qui concerne les nombres de spires et le diagramme des tensions sont, en outre, d'autant plus favorables que a est plus grand, c'est-à-dire que les sections du conducteur principal et du fil isolé diffèrent davantage.

L'examen de la figure 3 montre que la tension D entre ces deux conducteurs est

$$D = E_2 - E_1 = e_1 + e_2.$$

alors que la chute de tension entre A et B est

$$d = E_1 + e_1 = -(E_2 - e_2).$$

On peut se proposer de représenter graphiquement les variations de P et α et de D et d en fonction de a ou de p .

Les diagrammes montrent que c'est la région comprise entre les courbes $\alpha = f_2(a)$ et $P = f_1(a)$, pour $p = 8$, qui est la plus pratique.

On voit, d'après les limites des inégalités (16), que ce mode de connexion plus-moins n'est pas applicable pour $a = 1$, c'est-à-dire pour la ligne à conducteurs dédoublés (split-conductor).

Pour ce cas, c'est le mode de connexion suivant qui convient.

2. *Connexion moins-moins.* — Dans ce dispositif, les transformateurs T et t (fig. 4) ont tous deux les connexions d'un des enroulements inversées.

Les flèches empennées indiquent encore ici les directions des forces contre-électromotrices et se rapportent au cas $i_2 W_2 > i_1 W_1$ ou $i_1 w_1 > i_2 w_2$; sinon le sens des flèches doit être inversé.

Avec les mêmes hypothèses et les mêmes notations que précédemment, on trouve pour α la valeur

$$\alpha = \frac{p - a}{a - P}, \quad (13')$$

avec

$$E_2 + E_1 - (e_2 + e_1) = 0,$$

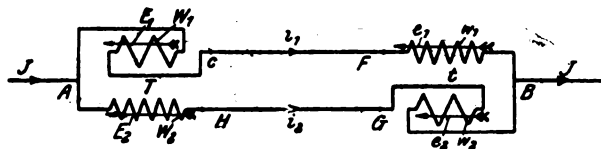


Fig. 4. — Montage moins-moins.

Pour que α reste positif, il faut

$$p \geq a \geq P,$$

Pour les nombres de spires, on aura ici la relation

$$W_1 + W_2 = w_1 + w_2,$$

et pour les rapports de transformation

$$P = \frac{2a + p(a-1)}{2p - a + 1}.$$

Comme on a $a \geq 1$, il faut

$$p > \frac{a-1}{2},$$

ce qui entraîne la condition

$$\frac{a-1}{2} < p < a < P,$$

ou

$$\frac{a-1}{2} < P < a < p.$$

Pour $a = 1$ (split-conductor), p peut être pris arbitrairement, alors

$$P = \frac{1}{p}, \quad p = \alpha.$$

Les diagrammes des courbes des tensions D entre les conducteurs en fonction de p , et avec diverses valeurs de a , montrent que, pour des valeurs élevées de a , il faut un nombre de spires de plus en plus élevé pour obtenir une tension D déterminée.

Mais pour $a = 1$, la chute de tension d entre A et B limite fortement le rapport de transformation de sorte qu'il faut prendre $p \leq 2$.

3. Connexion plus-plus. — Ce dispositif est représenté figure 5. On a ici

$$E_2 - E_1 + e_2 - e_1 = 0,$$

et, avec les mêmes hypothèses que précédemment,

$$\alpha = \frac{a + p}{a + P},$$

et

$$a = \frac{P + p(1 - 2P)}{P + p - 2},$$

d'où la condition

$$p < \frac{2a}{a-1}.$$

L'expression des tensions D et d montre que ce dispositif n'est pas susceptible d'être appliqué pratiquement, parce que,

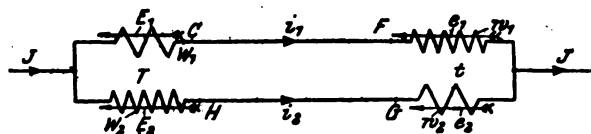


Fig. 5. — Montage plus-plus.

pour obtenir des valeurs utilisables de D , il faut consentir à des chutes de tension considérables d , entre les extrémités A, B de la section.

4. Comparaison des divers modes de connexion. — En raison du peu d'utilité du dernier dispositif, la comparaison n'a d'intérêt que pour les deux premiers.

Par cette comparaison, on supposera que l'on considère une ligne déterminée et que, par suite, a est donné. On admettra, en outre, que le rapport de transformation de l'un des transformateurs est le même pour les deux dispositifs. Ceci est toujours possible si, dans la connexion moins-moins, on prend pour P le plus petit des deux rapports de transformation. Les conditions limites sont alors

$$\text{pour la connexion } + - \left\{ \begin{array}{l} p < \frac{a-1}{2}, \\ p > \frac{2a}{a-1}, \end{array} \right.$$

$$\text{pour la connexion } - - \left\{ \begin{array}{l} \frac{a-1}{2} < P < a < p. \end{array} \right.$$

En traçant sur des lignes horizontales, pour diverses valeurs de a , les valeurs limites pour P et p , on obtient les régions des valeurs possibles. On en conclut aisément que pour $a > 3$, les deux connexions ont des régions communes, et que le rapport P peut être le même. Cette région commune croît d'ailleurs avec a .

Cette comparaison ne suffit pas, néanmoins, pour faire ressortir les avantages de l'un ou l'autre choix.

Il importe que le rapport a puisse être pris arbitrairement, pour les facilités de construction du conducteur. Il faut, en outre, que, pour une section de fer donnée, les quatre nombres de spires restent dans des limites pratiques et ne diffèrent pas trop; il faut, de plus, que la tension d'équilibre D entre les deux conducteurs atteigne des valeurs relativement élevées par rapport à la chute de tension d sur la section.

Le résultat général de cette investigation sera que la connexion $+ -$ convient mieux pour les grands rapports de

transformation, par exemple, entre $a = 10$ et $a = 50$, alors que la connexion — — est préférable pour les petites valeurs de a , entre autres pour $a = 1$ (split-conductor).

D'autre part, pour un rapport P donné, la valeur correspondante de p est toujours inférieure à P pour la connexion + —, mais toujours supérieure à P pour la connexion — —.

Toutes les formules se déduisent, d'ailleurs, aisément de celles qui se rapportent à la connexion + +, si l'on convient de considérer comme négatifs les nombres de spires dans les enroulements à connexions inverses mais de même sens, ou à connexions semblables avec enroulements en sens contraires. — P. C.

Tarification de l'énergie électrique ⁽¹⁾.

Dans le tarif uniforme, qui est le plus simple, le prix du kilowatt-heure est constant. Ce tarif est généralement réservé aux habitations privées et aux petits commerçants, pour lesquels la facture mensuelle est comprise entre 50 cents et 1,50 dollar ⁽²⁾.

Dans le tarif à paliers, la consommation entière est facturée à un prix unique, qui dépend du palier sur lequel tombe la consommation. On le spécifie ordinairement comme ci-dessous :

| | |
|------------------------------|------------------|
| 10 cents par kw-h pour | 1 à 20 kw-h |
| 8 id | 21 à 40 id |
| 6 id | 41 à 100 id |
| 5 id | 101 à 200 id |
| 3 id | plus de 200 kw-h |

La courbe donnée par ce mode de tarification est représentée par la figure 1, où l'on voit que de très légères varia-

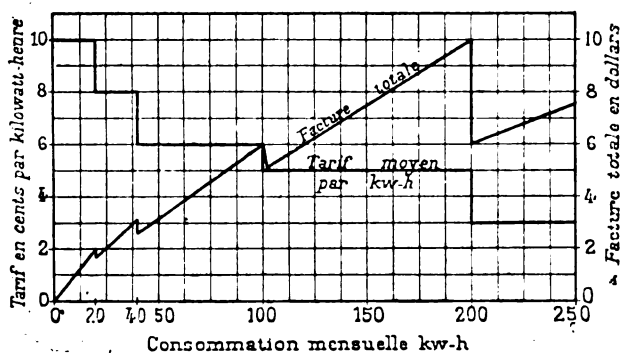


Fig. 1. — Tarif à paliers.

tions de la consommation produisent souvent de notables différences dans les prix unitaires et les factures. Ainsi 180 kw-h à 5 cents font 9 dollars, et 210 kw-h à 3 cents font 6,30 dollars, de sorte qu'un accroissement d'un sixième de la consommation réduit la facture de 30 pour 100. Ce tarif a un autre inconvénient, c'est qu'il ne tient pas compte du facteur de charge, qui a une influence prépondérante sur les prix de revient.

Le tarif « à tranches » détermine un prix pour certaines

tranches spécifiées de la consommation, les prix par kilowatt-heure allant en diminuant pour les tranches successives. Ce tarif est aussi facilement compris des consommateurs que le précédent, et il évite les grandes variations dans les prix unitaires et les sommes totales facturées, pour de faibles différences de consommation, auxquelles celui-ci donne lieu (fig. 2). Il ne tient pas compte non plus

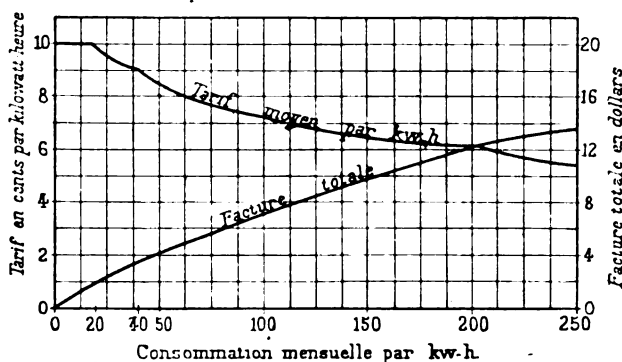


Fig. 2. — Tarif à tranches.

de l'influence du facteur d'utilisation sur les prix de revient, mais on corrige souvent ce défaut en ajoutant une prime fixe d'abonnement; c'est alors ce qu'on appelle le tarif Hopkinson à prime.

A titre d'exemple, une station centrale de l'Ohio applique ce tarif avec les chiffres suivants :

| | |
|-----------------------------|---------------------|
| 5 cents par kw-h pour | 1 à 200 kw-h |
| 4,5 id | 201 à 350 id |
| 4 id | 351 à 550 id |
| 3,5 id | 551 à 800 id |
| 3 id | 801 à 1 800 id |
| 2,5 id | 1 801 à 2 500 id |
| 2,25 id | 2 501 à 3 500 id |
| 2 id | 3 501 et au-dessus. |

Le tarif à maximum est celui dans lequel on base les prix sur la puissance installée d'un consommateur ou sa puissance instantanée maximum pendant une certaine période, ordinairement un mois ou un an.

Le tarif « à maximum simple » est le tarif à forfait basé sur la puissance installée; il est souvent modifié par le système à paliers ou à tranches. On l'emploie beaucoup pour les habitations privées et on l'applique par exemple avec les chiffres suivants :

- 2 dollars par mois par 100 w de puissance installée ;
- 25 dollars par an par cheval de puissance installée, ou
- 50 dollars par an par kilowatt pour les 25 premiers kilowatts de maximum ;
- 30 dollars par an par kilowatt pour l'excès au-dessus de 25 kw.

Le « tarif à maximum de Wright » est un système dans lequel le kilowatt-heure est décompté à un prix maximum pour une quantité donnée d'énergie, avec plusieurs réductions (suivant le système à tranches) pour l'énergie supplémentaire fournie, les prix étant basés sur l'usage fait du maximum instantané demandé, autrement dit sur le facteur d'utilisation, qu'on peut soit évaluer, soit mesurer. Ce tarif s'applique généralement à l'éclairage commercial d'une certaine importance et à la force motrice, avec les spécifications suivantes :

⁽¹⁾ F.-W.-C. PAILEY. *J. A. I. E. E.*, octobre 1921, t. XL, p. 803-808.

⁽²⁾ Le dollar vaut au pair 5,18 fr. Le cent est la centième partie du dollar.

10 cents par kilowatt-heure pour les 30 premières heures d'utilisation du maximum;

6 cents par kilowatt-heure pour les 30 heures d'utilisation suivantes;

4 cents par kilowatt-heure pour toute l'énergie dépassant soixante heures d'utilisation.

Pour un consommateur ayant un maximum instantané de 10 kw et une consommation de 750 kw-h (ce qui équivaut à 75 heures d'utilisation), la facture s'établit ainsi :

| | |
|------------------------------------------------|---------------|
| 300 kw-h (30 heures \times 10 kw) à 10 cents | = 30 dollars. |
| 300 id id à 6 | = 18 id |
| 150 id id à 4 | = 6 id |
| <hr/> 54 dollars. | |

Le prix moyen par kw-h consommé est de 7,2 cents. La figure 3 représente l'application de ce tarif.

Le « tarif à maximum d'Hopkinson » se compose d'une taxe sur le maximum instantané à laquelle s'ajoute un prix

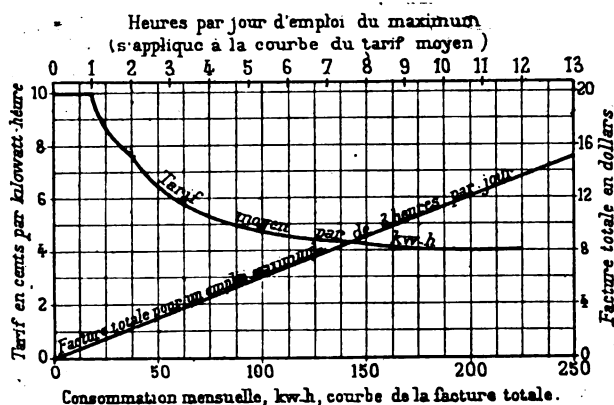


Fig. 3. — Tarif à maximum de Wright.

de l'énergie au compteur. La taxe sur le maximum est ordinairement basée sur la puissance installée pour les petites installations et sur un maximum mesuré pour les grandes. Ce tarif s'applique ainsi :

Taxe sur la puissance maximum :

2,40 dollars par kilowatt et par mois pour une puissance de 50 kw ou moindre;

2,00 dollars par kilowatt et par mois pour l'excès de puissance au-dessus de 50 kw.

Prix de l'énergie :

5 cents par kilowatt-heure pour les 100 premiers kilowatts-heure consommés;

3 cents par kilowatt-heure pour les 400 kilowatts-heure suivants;

1 cent par kilowatt-heure pour la tranche au-dessus de 500 kw-h par mois.

Pour un consommateur ayant 100 kw de puissance maximum et une consommation mensuelle de 7 000 kw-h, la facture s'établit ainsi :

Taxe sur la puissance maximum :

| | | |
|---------------------------|-------------------|-------------|
| 50 kw à 2,40 dollars..... | 120 dollars | 220 dollars |
| 50 kw à 2,00 dollars..... | 100 id | |
| <hr/> | | |
| 1 000 kw-h à 5 cents..... | 50 dollars | 190 dollars |
| 4 000 kw-h à 3 cents..... | 120 id | |
| 1 000 kw-h à 1 cent..... | 20 id | |
| 7 000 kw-h | <hr/> 190 dollars | |
| Total..... | <hr/> 410 dollars | |

Le prix moyen du kilowatt-heure est d'environ 5,86 cents.

La figure 4 représente l'application de ce tarif. La courbe A est celle du prix moyen par kilowatt-heure pour trois heures d'utilisation journalière moyenne de la puissance maximum, et la courbe B représente la même variable

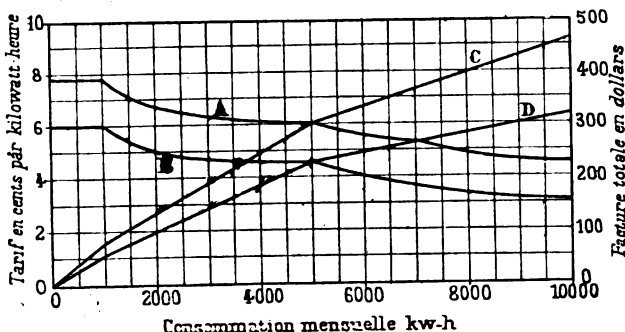


Fig. 4. — Tarif à maximum et à tranches d'Hopkinson.

pour une utilisation de huit heures. Les courbes C et D représentent respectivement les factures totales pour trois heures et pour huit heures d'utilisation du maximum.

Les tarifs appliqués à la grosse force motrice devraient être basés sur la courbe des prix de revient en fonction du facteur d'utilisation. D'après les kilowatts-heure annuels enregistrés, d'une part, au tableau de l'usine, d'autre part, aux compteurs des clients, le facteur d'utilisation de l'usine, la valeur des capitaux immobilisés et les dépenses d'exploitation, on peut facilement construire une courbe du prix de revient moyen du kilowatt-heure fourni, pour tous les facteurs d'utilisation. On fait entrer dans les calculs l'intérêt du capital, les impôts et les assurances, et on fait entrer l'amortissement dans les dépenses d'exploitation.

La courbe de la figure 5 montre le rapport du prix de

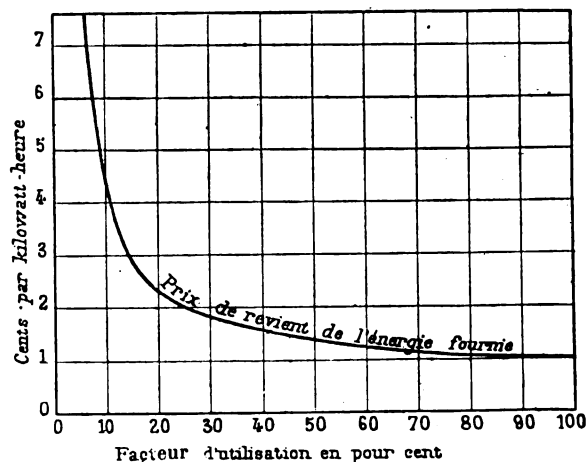


Fig. 5. — Prix de revient de l'énergie fournie.

revient de l'énergie fournie au facteur d'utilisation, en admettant, pour la commodité, que le prix de revient du kilowatt-heure à 100 pour 100 de facteur d'utilisation est de 1 cent. On constate qu'entre 75 pour 100 et 100 pour 100 de facteur d'utilisation, la courbe est presque une ligne droite, le prix de revient à 75 pour 100 étant

1,119 fois plus grand que le prix de revient à 100 pour 100 d'utilisation. A 50 pour 100, le prix de revient est 1,357 fois plus grand qu'à 100 pour 100. Au-dessous de 50 pour 100, la courbe s'élève plus rapidement.

La forme de cette courbe est déduite d'un revenu brut annuel de 25 pour 100 du capital, avec des dépenses d'exploitation égales à 60 pour 100 du revenu brut, un intérêt de 8 pour 100 au capital, et 2 pour 100 du capital pour les réserves et l'excédent, des pointes de charge d'une heure égales à 80 pour 100 de la puissance électrogène, un facteur d'utilisation de 50 pour 100 basé sur les pointes d'une heure et une proportion de 85 pour 100 entre l'énergie enregistrée par les compteurs des abonnés et celle qu'enregistrent les compteurs de l'usine.

Pour la grosse force motrice, la plupart des tarifs spécifient une taxe sur la puissance maximum et un prix unitaire pour l'énergie; mais on peut arriver aux mêmes prix totaux pour la consommation à différents facteurs d'utilisation, sans l'emploi d'une taxe séparée sur le maximum, au moyen d'un tarif relativement élevé pour la première tranche d'énergie consommée et d'un tarif bas pour la seconde et la troisième tranche.

Pour la force motrice, la plupart des tarifs appliquent une pénalisation aux consommateurs dont le facteur de puissance est bas. On prend généralement pour base le facteur de puissance moyen, quoique le dommage causé par sa faiblesse soit presque toujours plus grand pendant les heures de pointe. La difficulté d'enregistrer les moments et les durées où le facteur de puissance est bas, et les complications des factures, ont conduit à l'adoption du facteur de puissance moyen comme base. A titre d'exemple, il est spécifié, dans les tarifs de force motrice d'une grande entreprise de distribution, que, pour les puissances maxima de prise de 100 kv-A, on appliquera au prix des kilowatts-heure consommés un facteur de correction pour les facteurs de puissance moyens supérieurs et inférieurs à 85 pour 100 dans la durée d'un mois. Ces facteurs de correction ont les valeurs suivantes :

| Facteur de puissance. | Coefficient. | Facteur de puissance. | Coefficient. |
|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 100 | 0,951 | 80 | 1,023 |
| 95 | 0,965 | 75 | 1,05 |
| 90 | 0,981 | 70 | 1,0835 |
| 85 | 1,000 | 65 | 1,128 |

Il existe de nombreuses combinaisons des tarifs typiques indiqués ici, et aussi bien des méthodes pour déterminer la puissance maximum demandée et pour la taxer. Un tarif à maximum de Wright contient quelquefois huit ou dix paliers de tarification, entre 10 et 500 ch. Chacun des tarifs typiques peut comporter 3, 9 ou 10 ristournes.

Les frais de charbon forment la majeure partie des dépenses d'exploitation dans toutes les usines électrogènes à vapeur; les variations considérables du prix ou de la qualité du charbon doivent donc se répercuter sur les tarifs. Dans les grandes et moyennes usines modernes à turbo-alternateurs, les frais de charbon forment environ les deux tiers des dépenses d'exploitation de l'usine, d'où la tendance à élever la pression de la vapeur, le degré de vide et la puissance des unités.

Il est facile, quand on connaît la consommation moyenne de combustible en kilogrammes par kilowatt-heure fourni, d'établir un coefficient équitable à employer dans une clause sur la variabilité des prix du charbon. On peut aussi calculer un facteur de correction relatif aux variations du pouvoir calorifique du charbon.

Jusqu'ici, l'application des clauses du prix du charbon avait été réservée aux tarifs de la grosse force motrice, pour laquelle le prix de revient de l'énergie comporte une assez forte proportion de frais de combustible. Les trois plus importantes compagnies de la banlieue de New-York ont récemment innové sur ce point; elles ont établi, pour tous les consommateurs, un tarif mobile comportant une différence de 0,05 fr par kilowatt-heure pour chaque variation de 10 pour 100 du prix de la tonne de charbon, variation comptée à partir de 3 dollars, prix moyen de la tonne en 1916, année de la fixation de ce tarif.

P. L.

Observations manométriques aux pôles de l'arc électrique (1).

En 1888, Dewar (*Roy. Soc. Proced.*, t. xxxiii, p. 262) observa, au moyen d'un manomètre à eau, la pression hydrostatique qui s'exerce sur les charbons d'un arc, évidés suivant leurs axes. Il mesura sur l'anode une pression positive de l'ordre de 1 ou 2 mm. d'eau, et sur la cathode une pression nulle ou négative.

D'après une étude expérimentale de Duffield, Burnham et Davis (*Phil. Trans. A.* vol. 220, p. 109, 1919; *Proc. Roy. Soc. A.* vol. 97, p. 326, 1920), réalisée en suspendant l'une des électrodes d'un arc et en maintenant l'autre immobile, il s'exerce sur chaque pôle de l'arc une pression mécanique qui tend à écarter les électrodes. Cette pression est environ 100 fois plus faible que la pression hydrostatique observée par Dewar sur l'anode. Adoptant les vues de Follock sur l'émission, par la cathode, d'électrons doués d'une grande vitesse initiale, Duffield attribue la pression sur la cathode à la réaction engendrée par cette émission; il explique la pression sur l'anode par le transfert, à cette électrode, de la quantité de mouvement initialement portée par les électrons. Il déduit de ces considérations une théorie du fonctionnement de l'arc.

Beer et Tyndall ont entrepris leurs récentes recherches en partant de cette hypothèse que les effets de pression observés sur les charbons de l'arc sont dus à un vent électrique; la petitesse des effets tiendraient à l'existence simultanée, dans l'arc, de deux vents électriques contraires, engendrés par des courants opposés d'ions de signes différents; la pression observée serait due au vent électrique résultant.

Ces auteurs étudient expérimentalement, à la pression atmosphérique, les relations entre la longueur de l'arc, l'intensité du courant, et la pression du vent électrique. Ils emploient comme manomètre une jauge du type Chattock Fry, sensible à une différence de pression de 1 millième de millimètre d'eau. Ils mesurent la longueur de l'arc par l'intermédiaire d'une image formée sur un écran.

Leurs conclusions sont les suivantes :

1° L'effet Dewar est dû aux gaz occlus dans les charbons; croissant pendant les premières minutes d'allumage, cet effet passe par un maximum, puis décroît et tend à s'annuler;

2° Dans le corps de l'arc, le rapport des densités des courants de convection est égal au rapport des mobilités des ions constituant ces courants; les régions où s'engendrent les vents électriques sont confinées au voisinage des électrodes;

3° Sur l'anode s'exerce un excès de pression hydrostatique, proportionnel au courant transporté par l'arc et dû au mouvement d'une très mince couche d'ions négatifs voisine de l'anode;

4° La distribution de la pression au voisinage de la cathode est beaucoup plus compliquée: cette pression est tantôt positive, tantôt négative, selon des conditions déterminées. — J. R.

(1) M. E. G. BEER et A. M. TYNDALL, *Philosophical Magazine*, décembre 1921, t. xlii, p. 956-971, 5800 mots, 4 fig., 2 tab.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Importations et exportations françaises

de matériel électrique, produits électrométallurgiques et électrochimiques.

Les tableaux ci-dessous sont d'autant plus intéressants qu'ils fournissent la statistique comparée des matières et produits relatifs à l'industrie électrique échangés entre la France, ses colonies et les pays étran-

Tableau I. — Matériel électrique.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES ANNÉES 1919, 1920 ET 1921.

| PAGES DES DOCUMENTS OFFICIELS | DÉSIGNATIONS | QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES | | | VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------|---------|-----------------------------------------------|---------|---------|
| | | 1921 | 1920 | 1919 | 1921 | 1920 | 1919 |
| | | | | | | | |
| 101 | I. Machines pesant 1 000 kg et plus..... | 39 213 | 42 481 | 33 086 | 27 449 | 42 481 | 23 160 |
| | dynamo-électriques — 50 kg et moins de 1 000 kg..... | 17 770 | 22 679 | 13 630 | 14 216 | 27 215 | 10 904 |
| | — moins de 50 kg..... | 3 424 | 8 251 | 3 070 | 4 109 | 14 027 | 3 684 |
| | II. Appareils électriques avec enroulement de fil métal. isolé. | 9 512 | 10 525 | 8 244 | 47 500 | 73 675 | 41 220 |
| | et électrotechniques sans enroulement..... | 7 887 | 8 336 | 4 575 | 23 661 | 35 011 | 13 725 |
| 102 | III. Bâti et carcasses de dynamos et moteurs électriques..... | 1 833 | 793 | 2 209 | 550 | 356 | 663 |
| 87 | IV. Lampes électriques à filament de charbon, avec monture | 45 | 23 | 25 | 180 | 92 | 100 |
| | à filament métallique, id | 2 393 | 4 015 | 2 419 | 16 751 | 44 165 | 16 933 |
| | à incandescence sans monture..... | 25 | 20 | 18 | 200 | 240 | 144 |
| 102 | V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier.... | 43 | 55 | 34 | 65 | 121 | 51 |
| 84 | VI. Charbons préparés pour usages industriels..... | 1 747 | 5 622 | 21 678 | 1 049 | 4 498 | 12 971 |
| 102 | VII. Fils et câbles isolés pour l'électricité..... | 4 067 | 7 898 | 11 201 | 4 880 | 7 898 | 13 441 |
| | VIII. Induits de machines dynamo-électriques et pièces détachées pour appareils électriques..... | 6 836 | 7 165 | 4 876 | 13 672 | 21 495 | 9 752 |
| | IX. Aimants autres que les électro-aimants..... | 19 | 72 | 4 | 22 | 72 | 3 |
| 105 | X. Accumulateurs et pièces détachées..... | 4 155 | 3 530 | 3 341 | 2 493 | 2 101 | 2 005 |
| 86 | XI. Piles sèches..... | 84 | 213 | 299 | 59 | 181 | 209 |
| 87 | XII. Pièces pour l'électricité, en porcelaine, faïence, grès, isolateurs et autres..... | 19 422 | 15 859 | 5 035 | 9 206 | 8 659 | 2 387 |
| | Pièces pour l'électricité, en verre..... | 38 | 7 | 367 | 13 | 3 | 128 |
| | | 118 525 | 137 544 | 114 051 | 166 075 | 282 280 | 151 680 |
| Exportation de matériel électrique fabriqué en France ou francisé après transformation | | | | | | | |
| 175 | I. Dynamos et transformateurs..... | 19 873 | 28 331 | 6 959 | 19 873 | 41 080 | 6 959 |
| | II. Appareils électriques et électrotechniques..... | 28 871 | 28 184 | 8 549 | 92 387 | 126 263 | 27 356 |
| 176 | III. Bâti et carcasses de dynamos et de moteurs électriques..... | 646 | 740 | 22 | 194 | 333 | 7 |
| 160 | IV. Lampes à incandescence..... | 1 687 | 1 863 | 765 | 8 098 | 12 298 | 3 672 |
| 176 | V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier.... | 145 | 170 | 48 | 163 | 282 | 54 |
| 157 | VI. Charbons préparés pour usages industriels..... | 16 485 | 34 578 | 29 205 | 11 869 | 31 120 | 21 028 |
| 176 | VII. Fils et câbles isolés pour l'électricité..... | 28 784 | 23 694 | 17 717 | 25 906 | 21 325 | 15 945 |
| | VIII. Induits de dynamos et pièces pour appareils électriques..... | 4 297 | 5 343 | 3 046 | 8 508 | 15 870 | 6 030 |
| | IX. Aimants autres que les électro-aimants..... | 129 | 256 | 42 | 97 | 255 | 32 |
| 178 | X. Accumulateurs électriques et pièces détachées..... | 4 340 | 8 359 | 6 424 | 2 951 | 6 395 | 4 368 |
| | XI. Piles sèches..... | 2 764 | 2 799 | 928 | 1 327 | 1 903 | 445 |
| 159 | XII. Pièces pour l'électricité, en porcelaine, faïence, grès, blanc ou de couleur, isolateurs et autres..... | 10 502 | 5 007 | 4 065 | 4 579 | 2 366 | 1 773 |
| 160 | Pièces pour l'électricité, en verre..... | 5 536 | 3 074 | 368 | 1 456 | 830 | 97 |
| | | 124 079 | 142 378 | 78 138 | 177 408 | 260 321 | 87 766 |

gers, non pas seulement pour quelques mois, mais pour des années entières : ces chiffres permettent donc de se rendre compte, d'une façon plus précise, du degré d'intensité des transactions pour une période assez longue.

L'examen du tableau I dénote une continuation de

décroissance tant de l'importation (valeur, en moins, de 21 millions de francs pour les *dynamos*, de 27 millions pour les *lampes à incandescence*, de 7 millions pour les *induits et accessoires*, de 4 millions pour les *appareils électriques*, etc.), que de l'exportation (valeur, en

TABLEAU A. — Indices de supériorité de quelques articles d'importation étrangère de matériel électrique sur l'exportation française pour l'année 1921.

| ARTICLES | SUPÉRIORITÉ DES IMPORTATIONS | | OBSERVATIONS |
|----------|------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | en valeur | en poids | |
| | francs | quintaux | |
| I | 25 901 000 | 40 534 | <i>Dynamos.</i> — D'une année sur l'autre, il y a eu un mouvement de baisse très accentué tant à l'importation qu'à l'exportation. En effet, il a été importé en 1921, 38 000 quintaux en moins, pour une valeur moindre de 21 millions de francs. Les exportations ont évolué dans le même sens. |
| IV | 4 833 000 | 776 | <i>Lampes à incandescence.</i> — Les importations ont diminué en valeur de 27 millions de francs et en poids de 1 600 quintaux. Les exportations ont reculé de 4 millions de francs. |
| VIII | 5 164 000 | 2 539 | <i>Induits de dynamos et pièces accessoires.</i> — Les valeurs de cette article ont été en décroissance d'environ 7 millions de francs tant à l'importation qu'à l'exportation. |
| XII | 4 627 000 | 8 920 | <i>Pièces céramiques et isolateurs.</i> — Il y a eu mouvement ascendant des deux côtés, soit à l'importation 547 000 francs et 3 563 quintaux de plus et à l'exportation une plus-value de 2 213 000 et 5 500 francs et 5 500 quintaux de plus. |
| | 40 525 000 | 52 769 | Supériorité relative de l'importation pour l'année 1921. |

moins, de 34 millions pour les *appareils électriques*, de 20 millions pour les *charbons préparés*, de 7 millions pour les *induits et accessoires*, de 4 millions pour les *lampes à incandescence*, de 3,5 millions pour les *accumulateurs*, etc.). Il ne faut peut-être point se

plaindre outre mesure de cette diminution sensible des échanges, car il faut tenir compte de la baisse des prix de vente qui, pour certains articles, s'est fait sentir dans le courant de l'année 1921. Or, la diminution du poids des marchandises échangées a, dans bien

TABLEAU B. — Indices de supériorité de quelques articles d'exportation française de matériel électrique sur l'importation étrangère pour l'année 1921.

| ARTICLES | SUPÉRIORITÉ DES EXPORTATIONS | | OBSERVATIONS |
|----------|------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | en valeur | en poids | |
| | francs | quintaux | |
| VII | 21 026 000 | 24 717 | <i>Fils et câbles isolés.</i> — On peut constater avec plaisir une augmentation constante de l'exportation française depuis 1919, se chiffrant pour 1921 sur 4,5 millions de francs et 5 000 quintaux de plus, tandis que l'importation diminue de 3 millions de francs, et de 3 800 quintaux. |
| VI | 10 820 000 | 14 736 | <i>Charbons préparés.</i> — Si l'exportation a décré de 18 000 quintaux pour une valeur de 20 millions de francs, l'importation a subi une diminution beaucoup moindre. |
| II | 21 226 000 | 11 472 | <i>Appareils électriques et électrotechniques.</i> — Dans les deux sens, il y a eu baisse de valeurs, soit pour l'exportation de 34 millions de francs et pour l'importation de 4 millions. |
| XII | 1 443 000 | 5 518 | <i>Verrerie électrique.</i> — Son exportation a augmenté de 626 000 francs et de 2 500 quintaux. |
| X | 458 000 | 185 | <i>Accumulateurs et pièces détachées.</i> — L'exportation a décré de 3,5 millions de francs et de 4 000 quintaux. |
| | 54 973 000 | 56 628 | Supériorité relative de l'exportation pour l'année 1921. |

des cas, été loin de suivre le mouvement de baisse de leur valeur. Par contre, on a pu observer une petite augmentation de valeur à l'importation pour les pièces *céramiques et isolateurs*. Quant à l'exportation, on a constaté une augmentation de 4,5 millions de francs pour

les *fils et câbles isolés*, et de 2 millions pour les pièces *céramiques et isolateurs*. Le tableau II nous montre, entre 1921 et 1920, une diminution d'une valeur de près de 35 millions de francs dans les importations et, pour 1921, une supériorité de l'exportation sur l'importation.

Tableau II. — Produits électrométallurgiques et électrochimiques.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES ANNÉES 1919, 1920 ET 1921.

| PAGES DES DOCUMENTS OFFICIELS | DÉSIGNATION | QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES | | | VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------|---------|---------|-----------------------------------------------|--------|--------|--------|
| | | 1921 | 1920 | 1919 | 1921 | 1920 | 1919 | |
| | | | | | | | | |
| 65 | IMPORTATIONS | I. Aluminium { en lingots ou déchets..... | 2 138 | 12 851 | 43 102 | 973 | 11 566 | 19 611 |
| | | { battu, tiré, laminé, filé ou en poudre. | 735 | 1 135 | 5 320 | 588 | 1 306 | 4 263 |
| | | II. Ferro-alliages { ferro-manganèse..... | 24 243 | 89 663 | 116 884 | 4 606 | 18 829 | 22 208 |
| | | { ferro-silicium..... | 2 090 | 14 118 | 19 495 | 167 | 1 694 | 1 560 |
| | | { autres..... | 3 028 | 4 807 | 24 813 | 242 | 529 | 1 985 |
| 68 | | III. Carbure de calcium..... | 23 332 | 38 404 | 159 693 | 2 917 | 3 917 | 17 566 |
| 80 | | IV. Nitrate de calcium et cyanamide calcique..... | 50 265 | 116 821 | 63 887 | 3 207 | 10 748 | 4 089 |
| | | | 105 831 | 277 830 | 333 194 | 12 710 | 48 589 | 71 282 |
| Exportation de produits fabriqués en France ou francisés après transformation | | | | | | | | |
| 138 | EXPORTATIONS | I. Aluminium { en lingots ou déchets..... | 3 127 | 12 332 | 24 333 | 1 423 | 10 482 | 15 622 |
| | | { battu, tiré, laminé, filé ou en poudre. | 2 916 | 14 047 | 1 983 | 2 333 | 16 154 | 1 586 |
| | | II. Ferro-alliages { ferro-manganèse..... | 25 600 | 28 637 | 7 731 | 4 864 | 6 014 | 1 469 |
| | | { ferro-silicium..... | 30 055 | 34 129 | 5 771 | 2 404 | 4 095 | 402 |
| | | { autres..... | 7 853 | 24 344 | 2 949 | 628 | 2 678 | 236 |
| 141 | | III. Carbure de calcium..... | 58 502 | 54 724 | 18 794 | 7 313 | 5 582 | 1 438 |
| 154 | | IV. Nitrate de calcium et cyanamide calcique..... | 1 915 | 11 329 | 78 | 123 | 1 054 | 5 |
| | | | 130 068 | 179 542 | 61 639 | 19 088 | 46 059 | 20 758 |

TABLEAU C. — Indices du mouvement d'échanges internationaux des principales matières premières électrométallurgiques et électrochimiques pour les années 1920 et 1921 comparées.

| DÉSIGNATION | SUPÉRIORITÉ EN 1921 DE L'IMPORTATION SUR L'EXPORTATION | | AUGMENTATION DES IMPORTATIONS DE 1921 SUR 1920 | | DIMINUTION DES IMPORTATIONS DE 1921 SUR 1920 | | SUPÉRIORITÉ EN 1921 DE L'EXPORTATION SUR L'IMPORTATION | | AUGMENTATION DES EXPORTATIONS DE 1921 SUR 1920 | |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------|-----------|
| | en poids | en valeur | en poids | en valeur | en poids | en valeur | en poids | en valeur | en poids | en valeur |
| | quintaux | francs | quintaux | francs | quintaux | francs | quintaux | francs | quintaux | francs |
| I. Aluminium : | | | | | | | | | | |
| en lingots, déchets et demi-ouvré.. | | | | | 11 114 | 11 317 000 | 3 170 | 2 195 000 | | |
| II. a) Ferro-manganèse..... | | | | | 65 420 | 14 283 000 | 1 357 | 258 000 | | |
| b) Ferro-silicium..... | | | | | 12 028 | 1 517 000 | 27 965 | 2 237 000 | | |
| c) Autres ferro-alliages..... | | | | | 1 789 | 287 000 | 4 825 | 386 000 | | |
| III. Carbure de calcium..... | | | | | | | 35 170 | 4 396 000 | 3 778 | 1 731 000 |
| IV. Nitrate de calcium et cyanamide calcique..... | 48 350 | 3 094 000 | | | 66 556 | 7 531 000 | | | | |
| | 48 350 | 3 094 000 | | | 156 907 | 34 885 000 | 72 477 | 9 472 000 | 3 778 | 1 731 000 |

tation, moins le nitrate de calcium, se chiffant par près de 10 millions de francs pour 72 500 quintaux. L'exportation, pendant la même période, a décru aussi considérablement, car seulement sur le carbure

de calcium, il y a eu augmentation de 1 731 000 fr. par rapport à 1920. Quant à l'importation, son seul indice de supériorité sur l'exportation n'a porté que sur le nitrate de calcium et la cyanamide calcique pour une

valeur de 3094 000 fr et pour un poids de 48350 quintaux.

OBSERVATIONS. — Le mouvement de retour aux transactions commerciales normales est long encore à se dessiner, le malaise économique régnant actuellement sur tous les points du globe, mais la France, en particulier, est toujours sous le coup de la répercussion et des conséquences de la désastreuse guerre provoquée par l'Allemagne : dettes formidables à l'étranger, fluctuations du change, baisse de la valeur du franc, émission de papier monnaie, gains formidables des patrons usiniers et des paysans, prétentions des ouvriers

impôts écrasants, etc. Une autre cause de perturbation économique en France réside dans les campagnes odieuses menées de l'étranger contre les établissements financiers français petits ou grands, dont la belle tenue pendant et depuis la guerre exaspère nos adversaires économiques. Mais il faut féliciter nos financiers de s'être ressaisis et le gouvernement français d'avoir pris les mesures nécessaires pour enrayer la propagation de ces bruits malveillants, auxquels le public français ne prête pas l'oreille.

Désiré PECTOR,
Conseiller honoraire du Commerce extérieur.

Assemblées générales

Société d'Electricité de Paris.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 6 DÉCEMBRE 1921.

La situation de l'industrie électrique, malgré la crise qui sévit encore en ce moment, tend à se stabiliser et la société a enregistré pour l'exercice une augmentation de ses fournitures d'énergie électrique par rapport aux exercices précédents 1918-1919 et 1919-1920.

Le total des fournitures a même dépassé les ventes faites au cours du dernier exercice normal qui a précédé la guerre, exercice 1913-1914, et l'on peut maintenant considérer que la production a repris son régime du temps de paix.

Les travaux d'entretien et de renouvellement sont en bonne voie d'exécution, malgré des retards considérables dus aux difficultés de tous ordres rencontrées par les constructeurs.

L'augmentation des ventes a entraîné une augmentation des bénéfices ; par contre, la société a eu à supporter les charges inhérentes à l'ouverture d'un crédit auquel elle a été dans la nécessité d'avoir recours, en raison de difficultés de trésorerie maintenant aplanies. Le compte « escomptes et intérêts » présente de ce fait un solde débiteur.

Les résultats du dernier exercice permettent une augmentation du dividende en portant le coupon des actions à 22,50 fr et celui des parts à 41,66 fr et en affectant au fonds d'amortissement la même somme que pour l'exercice précédent et au fonds de renouvellement une somme se rapprochant du chiffre habituellement adopté.

Mais, dans l'avenir, il y aura lieu de doter ce dernier fonds de sommes plus importantes. En effet, le matériel spécial s'use rapidement ; il faut donc le renouveler souvent, ce qui d'ailleurs permet de maintenir l'usine à la hauteur des progrès de la science ; or, les prix d'achat de ce matériel, comparés à ceux d'avant-guerre, sont de trois à quatre fois plus élevés ; il est donc nécessaire d'alimenter les réserves spéciales en conséquence.

Il y a, d'ailleurs, tout lieu d'espérer que l'accroissement du chiffre des bénéfices permettra de faire face à cette obligation, sans affecter la fixation de la valeur du dividende.

Les résultats de l'exercice 1920-1921 s'établissent comme suit :

Les produits industriels, les revenus du portefeuille et divers s'élèvent ensemble à 7 385 284,51 fr.

Les charges sociales et frais généraux, les dotations au fonds d'amortissement et de renouvellement s'élèvent à 4 455 654,09 fr, laissant un solde créditeur de 2 929 630,42 fr, auquel il y a lieu d'ajouter le report de l'exercice précédent, 32 245,14 fr.

Le Conseil propose la répartition du solde comme suit :

5 pour 100 à la réserve légale ;

4 pour 100 au capital versé, comme premier dividende ;

115 859,89 fr d'attribution aux membres du Conseil d'administration et au directeur ;

un deuxième dividende de 12,50 fr à chaque action ;

un dividende de 41,66 fr à chaque part bénéficiaire.

Le report à nouveau est de 32 934,15 fr.

En conséquence, le dividende total est fixé, après déduction des impôts, à 20,25 fr par action nominative, 17,90 fr par action au porteur et à 32,16 par part bénéficiaire.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

| Actif. | | fr |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----|
| Caisse, banques et débiteurs divers..... | 26 168 530,70 | |
| Obligations à la souche..... | 3 418 500 » | |
| Approvisionnements..... | 1 926 687,29 | |
| Portefeuille..... | 13 542 453,28 | |
| Frais de constitution de la société, mobilier et aménagement du siège social..... | pour mémoire. | |
| Frais d'émission des obligations..... | 1 043 160,61 | |
| Premier établissement : usines de Saint-Denis... | 25 883 192,88 | |
| | <u>71 982 524,76</u> | |
| Passif. | | fr |
| Capital : | | |
| 100 000 actions de 250 fr..... | 25 000 000 » | |
| 10 000 parts bénéficiaires..... | pour mémoire. | |
| Obligations de 500 fr 4 pour 100 : | | |
| 41 588 titres en circulation ou à émettre.... | 20 794 000 » | |
| Réserve légale..... | 1 490 233,74 | |
| Fonds de renouvellement du matériel..... | 10 415 176,16 | |
| Intérêts et dividende, coupons restant à payer : | | |
| Actions..... | 157 314,57 | |
| Parts bénéficiaires..... | 28 854,25 | |
| Obligations..... | 310 100,95 | |
| Profits et pertes : | | |
| Solde au 30 juin 1921..... | 2 961 875,56 | |
| | <u>71 982 524,76</u> | |

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Loi abrogeant l'avance de l'heure en été.

On sait que, malgré les avantages réels que présente l'avance de l'heure en été, ses adversaires sont parvenus à faire abroger la loi du 6 février 1920 concernant cette question, mais que ses partisans ont néanmoins réussi à ce que, cette année encore, l'avance de l'heure ait lieu. Ce résultat nous promet de nouvelles discussions l'an prochain.

En attendant, nous mettons sous les yeux de nos lecteurs la loi d'abrogation, en date du 14 mars 1922 et publiée au « Journal officiel » du 15 mars, p. 2 937.

Le Sénat et la Chambre des Députés ont adopté,

Le président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

ARTICLE PREMIER. — La loi du 6 février 1920 sur l'avance de l'heure en été est abrogée.

ART. 2. — Toutefois, et sous réserve des modalités qui font l'objet des articles 3 et 4, l'heure légale fixée par la loi du 9 mars 1911 sera, pour l'année 1922, avancée de soixante minutes du dernier samedi de mars à 23 heures au premier samedi d'octobre à 24 heures.

ART. 3. — Dans les communes qui en feront la demande, les préfets fixeront les heures d'ouverture et de fermeture des écoles, de manière à tenir compte des habitudes locales et des intérêts des populations rurales.

ART. 4. — Les préfets fixeront les heures d'ouverture et de fermeture des foires et marchés, ainsi que les horaires des chemins de fer d'intérêt local et des services d'autobus, de façon à assurer le ravitaillement de ces foires et marchés ainsi que l'expédition des produits vendus en tenant compte des nécessités de la vie rurale.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des Députés, sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Paris, le 14 mars 1922.

Sur l'application de l'impôt sur le revenu aux coopératives de reconstruction.

Le « Journal Officiel » du 1^{er} mars 1922 publie, page 580 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse suivantes.

12237. — M. Delesalle, député, demande à M. le ministre des Finances si les comptes que se font ouvrir en banque, pour faciliter leurs opérations, les coopératives de reconstruction, constituées conformément à la loi du 15 août 1920, qui ne sont pas des comptes courants au sens admis par la doctrine de l'enregistrement, mais que, d'autre part, on ne saurait assimiler à des comptes de dépôt, sont soumis à la taxe de 10 pour 100 établie par l'article 33 de la loi du 31 juillet 1917. (Question du 3 février 1922.)

Réponse. — Pour répondre avec précision à la question de l'honorable député, il serait nécessaire d'avoir des indications plus détaillées sur la nature des comptes envisagés. Il convient cependant d'observer que les sociétés coopératives de reconstruction, constituées conformément à la loi du 15 août 1920, ne bénéficient pas, en principe, d'autres exemptions d'impôt que celle des droits de timbre et d'enregistre-

ment prévue par l'article 10 de cette loi. D'autre part, les articles 157 de la loi du 31 juillet 1920 et 2 de la loi du 24 mars 1921 n'ont exempté de l'impôt sur le revenu établi par l'article 38 de la loi du 31 juillet 1917, que les emprunts des sinistrés et groupements de sinistrés gagés par les annuités de l'Etat, c'est-à-dire les opérations ayant pour objet de « monnayer » lesdites annuités. Aucune exonération semblable n'existe en faveur des intérêts des fonds disponibles que les établissements de banque ou de crédit détiennent pour le compte des coopératives de reconstruction.

Sur l'application de la loi sur les bénéfices de guerre aux sociétés françaises associées à des sociétés étrangères.

Le « Journal officiel » du 24 février 1922 publie, page 123 des « Débats parlementaires, Sénat », la question et la réponse suivantes :

4850. — M. Eccard, sénateur, demande à M. le ministre des Finances si une société française doit la contribution ordinaire sur les bénéfices de guerre et l'impôt sur les bénéfices commerciaux sur la part des bénéfices réalisés à l'étranger qui lui est transférée par une société étrangère dans le cas où cette société française, exerçant son commerce uniquement en France, s'est unie à une maison étrangère par une association en participation pour la répartition des bénéfices réalisés par chacune des maisons, lesquelles ont conservé, par ailleurs, leur entière autonomie. (Question du 5 janvier 1922.)

Réponse. — Conformément à la jurisprudence de la commission supérieure, la société française visée dans la question est passible de la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre pour la totalité de ses bénéfices, y compris ceux qu'elle verse à la société étrangère. Par contre, elle ne paraît pas devoir y être soumise pour les sommes qui lui reviennent sur les bénéfices de cette dernière société, la même solution devant s'appliquer en matière d'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux. Mais il serait nécessaire de connaître les clauses précises du contrat intervenu entre les deux sociétés en cause pour pouvoir se prononcer d'une manière formelle à cet égard.

Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires.

Le « Journal officiel » du 1^{er} mars 1922 publie, page 577 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse suivantes :

11722. — M. Henri Auriol, député, demande à M. le ministre des Finances : 1° si l'instruction relative à la procédure à suivre pour l'introduction, l'instruction et le jugement des instances relatives au contentieux de l'impôt sur le chiffre d'affaires, instruction prévue par celle du 29 juillet 1920 relative à l'exécution des prescriptions des articles 50 à 73 de la loi du 25 juin 1920, est parue, et quelle est sa date; 2° quel est le délai pour comparaître devant le Conseil de préfecture, ajoutant que la loi du 22 juillet 1889 sur la procédure à suivre devant le Conseil de préfecture,

laquelle se réfère l'article 70 de la loi du 25 juin 1920, est muette sur ce point, les instances étant, en principe, introduites par voie de requête, et non par assignation. (Question du 19 janvier 1922.)

Réponse. — 1° L'instruction prévue par celle du 29 août 1920 et relative à l'exécution des articles 68 (4° et 5° alinéas) et 70 (4° et 5° alinéas) de la loi du 25 juin 1920 vient d'être distribuée au service; 2° en vertu de l'article 70 de la loi du 25 juin 1920, l'exécution des contraintes ne peut être interrompue que par une opposition formée par le redevable contenant assignation devant le Conseil de préfecture. L'original de l'exploit d'assignation doit, à peine de péremption, être déposé au greffe du Conseil dans le délai de quinze jours à dater de sa signification. C'est ensuite au Conseil de préfecture qu'il appartient, en chambre du Conseil, de régler la notification de l'assignation à l'administration et de fixer le délai dans lequel cette dernière doit présenter sa défense (loi du 22 juillet 1889, art. 6).

Sur l'application de la loi sur les bénéfices de guerre.

Le « Journal officiel » du 1^{er} mars 1922 publie, page 165 des « Débats parlementaires, Sénat », la question et la réponse qui suivent :

4883. — M. Boudenoot, sénateur, demande à M. le ministre des Finances si les quatre associés restants d'une société en nom collectif — formée avant 1914, entre cinq personnes, et dont l'un des associés est décédé en juin 1916, alors que la société avait subi des pertes importantes et n'était donc pas passible de la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre — sont admis au bénéfice du paragraphe 5 de l'article 13 de la loi du 25 juin 1920, ces quatre associés rentrant dans les conditions prévues au paragraphe 1^{er} de l'article 13 de ladite loi. (Question du 24 janvier 1922.)

Réponse. — Lorsqu'une entreprise est exploitée en association, la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre doit être établie au nom de la société et les associés qui, par suite, ne sont pas personnellement imposables, ne peuvent bénéficier d'une exonération à titre individuel.

Les membres de la société visée dans la question ne sauraient, dès lors, être affranchis de la taxe, mais la société pourrait en être exonérée par application de l'article 15, alinéa 5°, de la loi du 25 juin 1920, si, tous les associés ayant été mobilisés dans les conditions prévues au paragraphe 1^{er} du même article, elle n'avait pas réalisé de bénéfices imposables avant le 11 novembre 1918.

Le « Journal officiel » du 1^{er} mars 1922 publie, p. 579 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse suivantes :

12102. — M. Inizan, député, demande à M. le ministre des Finances si la commission du premier degré chargée des affaires de contributions extraordinaires sur les bénéfices de guerre peut rejeter la déclaration d'un commerçant et prétendre le taxer d'office sur un bénéfice de base réduit comme bénéfice d'avant-guerre, sous prétexte que ce commerçant ne peut présenter une comptabilité simple, suffisante pour établir son bénéfice d'une manière certaine. (Question du 27 janvier 1922.)

Réponse. — Le bénéfice des entreprises passibles de la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre doit, en principe, être dégagé des données que présente la comptabilité des exploitants, à la condition, toutefois, qu'elle soit complète et régulière, quelle que soit, d'ailleurs, la méthode suivant laquelle elle a été dressée, et c'est précisément aux commissions de taxation qu'il appartient d'apprécier, d'après les circonstances particulières à chaque espèce, si cette condition se trouve remplie. Par suite, la commission

du premier degré appelée à statuer sur le cas du contribuable visé dans la question est qualifiée pour décider si les documents comptables qu'il a produits sont susceptibles d'être retenus pour l'assiette de la contribution, sous réserve, bien entendu, du droit d'appel de l'intéressé devant la commission supérieure.

Sur la déclaration des salaires par les patrons en vue de la perception de l'impôt.

Le « Journal officiel » du 1^{er} mars 1922 publie, page 578 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse suivantes :

11954. — M. Dezarnaulds, député, demande à M. le ministre des Finances, si un ouvrier travaillant à la journée, occupé dans le courant de l'année chez plusieurs patrons, doit faire lui-même sa déclaration pour l'impôt sur le salaire ou si c'est à son dernier patron qu'incombe cette charge. (Question du 24 janvier 1922.)

Réponse. — D'après l'article 26 de la loi du 31 juillet 1917, chaque chef d'entreprise est tenu de faire connaître au contrôleur des contributions directes, dans le courant du mois de janvier de chaque année, le montant de la rémunération qu'il a versée, au cours de l'année précédente, à toute personne employée par lui pendant plus de trente jours consécutifs, toutes les fois que, ramenée à l'année, cette rémunération dépasse le minimum imposable. Il appartient, dès lors, à chacun des patrons successifs de l'ouvrier visé dans la question, de déclarer, le cas échéant, le salaire qu'il a versé à l'intéressé. Celui-ci n'est personnellement tenu à la production d'aucune déclaration spéciale en vue de l'établissement de l'impôt sur les traitements et salaires dont il peut être redevable; mais, par contre, il doit souscrire une déclaration de l'ensemble de ses ressources pour l'établissement de l'impôt général sur le revenu, s'il est redevable de cet impôt.

Sur l'application de l'impôt sur le revenu.

Le « Journal officiel » du 1^{er} mars 1922 publie, p. 579 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse qui suivent :

12135. — M. Flayelle, député, demande à M. le ministre des Finances : 1° pour quelles raisons et en vertu de quel texte son administration considère que les contribuables qui, concurremment avec une profession commerciale, occupent un emploi salarié ou exercent une profession non commerciale, doivent être assujettis, pour l'ensemble de leurs revenus professionnels, à un impôt cédulaire unique; 2° si cette interprétation de l'administration s'applique lorsque la profession commerciale et la profession non commerciale sont exercées par la même personne dans deux villes différentes. (Question du 31 janvier 1922.)

Réponse. — Aucune disposition législative ne règle les conditions dans lesquelles doivent être soumis aux impôts cédulaires sur les revenus les contribuables dont les revenus professionnels proviennent de plusieurs sources. Cependant l'intention du législateur semble avoir été de n'accorder qu'une seule fois au même contribuable le bénéfice des abattements à la base prévus par la loi; l'administration se trouve ainsi amenée à soumettre les intéressés à un impôt cédulaire unique, alors même d'ailleurs qu'ils exerceraient leurs professions ou emplois dans deux villes distinctes. Toutefois, cette règle n'est pas susceptible de recevoir son application lorsque les occupations professionnelles des intéressés sont de nature essentiellement différentes, en particulier s'il s'agit d'un salarié exerçant une profession commerciale.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N^o 14.

8 AVRIL 1922.

Chronique. — Les Conférences-rapports sur la physique. — Le physicien A. Einstein au Collège de France. — Bibliographies : Théorie sommaire de la règle à calcul, par Émile PIÉREARD; Précis d'organisation comptable, par LÉON GAGNEPAIN; Etudes d'organisation commerciale, par J. WILBOIS, p. 481-482.

Section scientifique et technique. — La transmission à longue distance par télégraphie sans fil, par G. MALGORN, p. 483. — Sur les feuillets magnétiques, par E. BRYLINSKI, p. 490. — Sur les tensions et pressions Maxwell dans les aimants et les diélectriques, par G. GOUV, p. 492. — Revues, analyses et informations : Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique (*suite et fin*), p. 494; Sur les surfaces de discontinuité, p. 496.

Section industrielle. — Les tarifications nouvelles et la compensation de la puissance réactive par l'emploi des condensateurs statiques, par M. MISSEREY, p. 497. — Revues, analyses et informations : Etude des calibres industriels au moyen des interférences lumineuses, p. 506; Compte rendu du Congrès du cosc de l'Union des Usines d'Electricité, allemandes, p. 508; Tensions de service maxima admissibles dans les câbles, p. 509.

Section économique et financière. — Assemblées générales : L'Union électrique (Saint-Claude, Jura), p. 513.

Erratum, p. 514.

Section de législation. — La question des amortissements et le fisc, principalement au point de vue des concessions de distribution, par PAUL BOUGAULT, p. 515. — Législation, jurisprudence, réglementation : Jugement du Tribunal de Paix de Carmaux concernant le droit des syndicats professionnels de représenter leurs adhérents, p. 519; Arrêt de la Cour de Cassation concernant le taux du change dans les règlements de comptes, p. 519; Jugement du Tribunal de la Seine concernant la nature de la monnaie et le taux du change dans les règlements de comptes, p. 520; Jugement du Tribunal de Commerce de la Seine concernant la résiliation d'un contrat d'avant guerre de fourniture d'énergie électrique, p. 520; Sur l'application de l'impôt global sur le revenu, p. 520.

Les Conférences-rapports sur la physique : Séance du 21 mars 1922. — M. C. GUTTON a exposé, dans la première des trois conférences prévues sur « La lampe à trois électrodes », les propriétés générales des audions et leur emploi en relais-amplificateurs téléphoniques.

Il a d'abord rappelé l'effet Edison dans la lampe à deux électrodes (ou *valve-redresseur*), puis les caractéristiques de la lampe (volts, milliampères) pour une température constante du filament, et les déformations de ces caractéristiques lorsque la température du filament varie.

Il a rappelé ensuite le principe de la lampe à trois électrodes (ou *valve-relais* ou *audion*) de Lee de Forest et étudié en détail le fonctionnement de cette lampe. Rapportant les tensions au pôle négatif de la batterie de chauffage du filament, il a tracé les diverses caractéristiques de la lampe : courant de plaque (en milliampères) ou courant de grille (en microampères) et tension de grille (en volts), le courant de chauffage du filament et la tension de plaque restant constantes; il a ensuite étudié les déformations et les déplacements des caractéristiques lorsque varie soit la tension de plaque, soit la température du filament.

Désignant par : j , l'intensité du courant thermoionique, p , la résistance interne de la lampe, v , la tension de plaque, u , la tension de grille, k , le facteur d'amplification de la lampe, M. Gutton a établi, pour une région déterminée d'une caractéristique, la relation,

$$p \cdot j = v + k u,$$

et montré comment pouvaient être déterminés expérimentalement p et k .

L'étude de l'influence du degré de vide de la lampe sur la forme des caractéristiques et, la description très rapide de quelques types de lampes, ont complété la première partie de la conférence.

Dans la seconde partie, M. Gutton s'est étendu sur l'emploi de la lampe à trois électrodes comme relai-amplificateur téléphonique : principe de l'amplification simple, amplification à plusieurs étages; sensibilité et consommation du relai; influence des capacités parasites.

Il a développé une étude originale des oscillations spontanées dans les relais et terminé son exposé par la description, la théorie et l'utilisation de l'amplificateur G. Beauvais et L. Brillouin pour toute fréquence.

Des expériences, des données numériques, quelques comparaisons entre les lignes téléphoniques françaises et américaines, ont donné à cette conférence simple, claire, dépourvue de tout appareil mathématique inutile, sa forme achevée.

Séance du 28 mars 1922. — Dans sa deuxième conférence sur « La lampe à trois électrodes », M. C. Gutton a traité de l'emploi de la lampe pour l'entretien des oscillations dans un circuit électrique. L'ordre des idées développées a été le suivant :

Schéma du couplage magnétique du circuit de grille d'une lampe et d'un circuit oscillant caractérisé par C , L , R . Mécanisme du déclenchement et de l'entretien des oscillations

dans le circuit oscillant; comparaisons avec le déclanchement et l'entretien des oscillations d'un pendule. Equation différentielle du courant dans le circuit oscillant; discussion du signe de coefficient d'induction mutuelle M de couplage; étude du terme d'amortissement

$$R + \frac{L + kM}{C_p};$$

influence du rapport $\frac{R}{\rho}$.

Influence de la valeur et du sens du couplage sur la stabilité du système oscillant, sur la pureté des oscillations, sur la superposition d'harmoniques à l'oscillation sinusoïdale.

Expériences: inversion des circuits du couplage électromagnétique; détermination des nœuds et des ventres dans une ligne qui est le siège d'ondes stationnaires (longueur d'onde de l'ordre de 1,50 m).

Condition optimum de fonctionnement: utilité de la recherche de l'intensité maximum du courant oscillant dans les appareils militaires (aviation, génie et artillerie).

Rendement, dans les conditions de puissance maximum (égal à 0,5, pour une lampe comme pour une dynamo ou une pile); influence de la valeur du rapport $\frac{C}{L}$. Possibilité d'un rendement supérieur à 0,5 dans des conditions différentes des conditions de puissance optimum.

Graphique de fonctionnement: opposition presque complète des tensions grille et plaque.

Schéma du couplage d'une lampe et d'un circuit oscillant, par induction électrostatique. Oscillateur à fréquence très élevée.

Application des oscillations entretenues par une lampe: à l'émission d'ondes hertziennes; à la mesure des résistances des liquides par le téléphone (audition de sons musicaux).

M. Gulton examinera dans sa prochaine conférence (4 avril) les applications de la lampe à trois électrodes à la télégraphie et à la téléphonie. — J. R.

Le physicien A. Einstein au Collège de France.

— Dans sa conférence du 31 mars au Collège de France (fondation Michonis), M. Einstein a rappelé les concepts de la théorie de la relativité restreinte et de la théorie de la relativité générale, pour mettre en évidence leur contenu physique. Il a discrètement insisté sur les conséquences inexactes que de purs mathématiciens pourraient tirer de ces théories, s'il leur arrivait d'oublier que l'expression invariante ds^2 en coordonnées de Gauss n'est valable que dans un domaine d'étendue assez petite pour être considéré comme un domaine euclidien. — J. R.

Bibliographie: Théorie sommaire de la règle à calcul ⁽¹⁾, par Emile PIÉRARD, professeur à l'Université de Bruxelles, ingénieur en chef, directeur d'Administration des télégraphes belges. — Parmi les opérations que permet de résoudre la règle à calcul, la résolution des équations du 3° degré occupe une place toute spéciale.

Ces équations se présentent naturellement dans toutes les

questions de pose de lignes aériennes, qu'il s'agisse de variations de température ou de surcharges.

La méthode ordinaire de Cardan est longue et laborieuse; celle des approximations successives ne l'est pas moins; au contraire, la règle donne leur solution réelle avec une facilité très grande et souvent une approximation remarquable. C'est ce qui a engagé M. Piérard à en exposer la méthode dans cet ouvrage, après avoir donné une courte théorie de la règle à calcul elle-même.

Bibliographie: Précis d'organisation comptable.

I. 1. *Commerce*, par M. LÉON GAGNEPAIN, ancien professeur de l'Ecole des Hautes Etudes Commerciales, doyen de la Compagnie des Experts-Comptables et Organisateurs-Conseils de France ⁽²⁾. — Ce volume est le premier d'une série d'études d'organisation qui paraîtront successivement sur l'industrie, l'agriculture, les finances, les sociétés, la comptabilité des grandes administrations de l'Etat.

M. Gagnepain, dans son premier volume sur le commerce étudié en dix chapitres les notions générales de comptabilité commerciale, les documents relatifs aux échanges, leur classification, leur rôle dans la comptabilité, les principes d'organisation comptable, la comptabilité auxiliaire (journaux, grands livres des comptes particuliers), la comptabilité générale (journal centralisateur, grand livre des comptes généraux, balances, bilans, résultats mensuels), l'établissement d'une comptabilité dans le cas où il est impossible de faire sortir les marchandises au prix d'achat, les établissements possédant plusieurs succursales, la lecture d'un bilan, la liquidation d'une entreprise, la comptabilité d'un hôtel.

Bibliographie: Etudes d'organisation commerciale ⁽²⁾. Travaux de la Chambre syndicale de l'Organisation commerciale publiés sous la direction de J. WILBOIS. — Divers auteurs ont collaboré à la publication de ces études pour aborder chacun une importante question d'organisation commerciale.

M. J. Wilbois, directeur de l'Ecole d'administration et d'affaires, traite de « l'organisation générale des entreprises »; il étudie les fonctions qui assurent la vie de l'exploitation.

M. C. Mamet, vice-président de la Chambre d'Organisation commerciale, montre « l'organisation au service des chefs de maison »; le chef de maison préside à la vie de l'entreprise; l'auteur dit quel est son rôle avant et pendant l'exploitation.

M. F. Maurice, ancien élève de l'Ecole polytechnique publie sur « les classements et systèmes » et sur « l'organisation et la vente » deux travaux tout à fait nouveaux dont la précision n'a jamais été approchée par aucune publication antérieure.

MM. E. et L. Damour, chefs de publicité, étudient « l'organisation et la publicité »; ils abordent successivement les principes, les méthodes, les moyens, la réalisation.

Enfin, M. Gabriel Faure, maître de Conférences à l'Ecole Centrale, traite avec une autorité incontestée de « l'organisation et la comptabilité », il décrit les méthodes nouvelles et l'outillage récent qui ont renoué la science des comptes.

⁽¹⁾ Une brochure, 25 cm × 16 cm de 15 pages, avec 6 figures dans le texte. Editeurs, Dunod et Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, Paris (VI^e) et Ramlot, 25, rue Grétry, Bruxelles. En vente aux bureaux de la *Revue générale de l'Electricité*. Prix: 1,50 fr.

⁽²⁾ Un volume, 25 cm × 17 cm, de 216 pages, édité par G. et M. Ravisse, 52, rue des Saints-Pères, Paris VII^e. Prix: 14 fr.

⁽³⁾ Un volume, 19 cm × 12 cm, de 300 pages. Edité par G. et M. Ravisse, 52, rue des Saints-Pères, Paris, VII^e. Prix: 7, 50 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

La transmission à longue distance par télégraphie sans fil

Au cours de ces dernières années, on a proposé différentes formules pour la propagation de l'énergie, ainsi que pour la transmission de l'énergie entre deux antennes. Outre les divergences qui existent quant à la valeur des divers coefficients qui entrent dans ces formules, on trouve également des différences provenant du fait que certains auteurs prennent un système d'unités, d'autres un système différent (cas du facteur d'absorption), ou du fait que les uns prennent la hauteur effective de l'antenne comme base, les autres la hauteur réelle (cas des formules de transmission de l'énergie entre deux antennes). Dans cet article, l'auteur s'est proposé de résumer les principaux résultats obtenus et de montrer l'origine de certaines divergences telles que celles que nous venons de signaler.

1. Généralités. — Lorsqu'on projette l'établissement d'une station de télégraphie sans fil destinée à communiquer sur plusieurs milliers de kilomètres, il importe de décider, tout d'abord, quelle sera la valeur de l'énergie nécessaire dans l'antenne ou le cadre récepteur, pour un fonctionnement satisfaisant. Il devra être possible, ensuite, d'obtenir la valeur choisie, même dans les circonstances les plus défavorables de l'année.

Mais que doit être cette valeur ? On n'est pas d'accord à ce sujet. Austin recommande un minimum de 6×10^{-10} w pour assurer une réception continue dans la région de Washington. La station de Nauen produit des signaux de cette intensité dans les antennes réceptrices américaines. La station de Bordeaux possédant un émetteur à arc de 1 000 kw et des pylônes de 200 m de haut produit 20×10^{-10} w. Le professeur Howe a indiqué 400×10^{-10} w comme chiffre convenable pour de bonnes conditions de réception. Ces chiffres représentent un joli facteur de sécurité, puisque le professeur Vallauri en 1919, à Leghorn (Italie), a mesuré des puissances de $0,1 \times 10^{-10}$ w à 1×10^{-10} w.

Cette valeur minimum étant posée, il faut ensuite posséder une formule de transmission permettant de déterminer la puissance nécessaire à la station émettrice située à plusieurs milliers de kilomètres. Pour les courtes distances (40 à 80 km) la formule suivante donne de bons résultats

$$h_e I_e = \frac{\lambda d R I_r}{377 h_r},$$

où I_e est le courant dans l'antenne émettrice en ampères ;

I_r , le courant dans l'antenne réceptrice en ampères ;

h_r , la hauteur effective de l'antenne réceptrice et h_e , celle de l'antenne émettrice ;

λ , la longueur d'onde en kilomètres ;

d , la distance en kilomètres ;

R , la résistance totale du circuit récepteur en ohms.

Aux distances supérieures à 80 km, le champ magné-

tique est inférieur à celui donné par cette formule à cause de l'absorption de l'énergie de l'onde pendant sa propagation. Pour tenir compte de cette absorption, il faut introduire un facteur dans le terme de droite et la formule devient

$$h_e I_e = \frac{\lambda d R I_r}{377 h_r} \sqrt{\frac{\sin \theta}{\theta}} e^{-0,0015 \frac{d}{\sqrt{\lambda}}},$$

formule connue sous le nom de formule de transmission d'Austin-Cohen.

Fuller a adopté le chiffre 0,0045 au lieu de 0,0015 et remplacé λ par le terme $\lambda^{1,4}$. Le facteur

$$\sqrt{\frac{\sin \theta}{\theta}}$$

tient compte de la courbure de la Terre, θ représentant l'angle sous-tendu au centre de la Terre par le secteur représentant la distance entre les deux stations. Pour les courtes distances, ce facteur se réduit à 1. Le facteur 0,0015 est parfois représenté par la lettre α . On a proposé d'autres valeurs de α . Dans la formule théorique de Sommerfeld le facteur exponentiel est

$$e^{-0,0019 \frac{d}{\sqrt{\lambda}}}.$$

Eccles propose pour la transmission de nuit une valeur de α égale à 0,0002.

On ne peut cependant dans la pratique accorder qu'une confiance relative à la formule d'Austin-Cohen. Le professeur Howe a calculé des tables donnant la puissance nécessaire à l'émission pour des distances variables allant jusqu'à 10 000 km, afin de donner une intensité de signal minimum. Vallauri a essayé de calculer la valeur de $h_e I_e$ pour Annapolis ; il a obtenu avec la formule d'Austin-Cohen des valeurs variant de 170 à 530 et avec la formule de Fuller des valeurs

variant de 24 à 75. Or la valeur réelle de $h_e I_e$ pour Annapolis varie autour de 30.

Des mesures récentes faites à bord de l'« Aldébaran », navire français envoyé en mission dans le Pacifique pour mesurer l'intensité des signaux émis par Nantes et Lyon, ont confirmé l'opinion générale, à savoir que la formule d'Austin-Cohen n'est pas applicable pour les distances supérieures à 4 000 km.

Il n'y a donc pas de formule sûre de transmission et il devient intéressant de se préoccuper de déterminer une nouvelle valeur de α .

Il est probable qu'un seul terme ne suffira pas pour la transmission sur mer et sur terre. Il est possible qu'il

faille substituer au terme $\frac{\alpha d}{\sqrt{\lambda}}$ un facteur de la forme

$$\frac{\alpha d + \beta d'}{\lambda^n},$$

où d représente la distance sur mer et d' , la distance sur terre. Un certain nombre de mesures effectuées en divers points du globe seront nécessaires pour la détermination de α ou de son équivalent.

II. Formules de propagation. — a) *Historique.* — L'étude théorique de la propagation des ondes électriques à la surface du globe a fait l'objet de nombreuses recherches. Elle repose sur l'étude de la diffraction de ces ondes et prend comme point de départ les équations de Maxwell.

Le premier mathématicien qui ait abordé la question est Henri Poincaré (1). En partant de l'hypothèse généralement admise, que le globe terrestre est constitué d'une matière de conductivité infiniment grande, il trouve que la loi de décroissance de l'amplitude des oscillations est de la forme

$$e^{-\frac{md}{\sqrt{\lambda}}},$$

où λ est la longueur d'onde ;

d , la distance au point émetteur comptée sur un grand cercle ;

m , un facteur dont Poincaré ne donne pas la valeur.

Poincaré constate d'ailleurs que ces résultats n'expliquent pas les longues portées obtenues en télégraphie sans fil.

J.-W. Nicholson donne comme loi de décroissance une formule analogue

$$e^{-\beta \left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}},$$

a étant le rayon du globe, λ la longueur d'onde, θ l'angle géocentrique entre le point émetteur et le

point envisagé, β un coefficient numérique auquel Nicholson donne la valeur 0,7.

Nicholson constate, comme Poincaré, que ces résultats ne correspondent pas aux grandes portées réalisées en télégraphie sans fil.

Partant des calculs faits par H.-W. March et qui contenaient une erreur signalée par Poincaré, Von Rybezynski trouve que le terme de décroissance est de la forme

$$A_1 = \frac{2A_0}{a\sqrt{\theta \sin \theta}} e^{-\beta \left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}},$$

c'est-à-dire que l'amplitude A en un point tel que sa distance angulaire géocentrique au point d'émission soit θ , est le produit de deux termes, l'un égal à

$$\frac{2A_0}{a\sqrt{\theta \sin \theta}},$$

où A_0 est l'amplitude du champ électrique au point émetteur, l'autre peu différent de l'exponentielle obtenue par Poincaré et Nicholson. Mais au lieu de la valeur 0,7 de Nicholson, il trouve $\beta = 0,33$.

Cette formule de Rybezynski peut se mettre pratiquement sous la forme suivante

$$I_r = 3,77 \frac{h_e h_r I_e}{\lambda d R} e^{-\frac{0,0019 d}{\sqrt{\lambda}}} \sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}},$$

où I_r est le courant dans l'antenne de réception, I_e le courant dans l'antenne d'émission, R la résistance de l'antenne de réception, d la distance sur un grand cercle entre le poste émetteur et le poste récepteur, θ la distance angulaire géocentrique entre ces deux points, h_e et h_r les hauteurs efficaces des antennes, c'est-à-dire les hauteurs telles que l'on puisse assimiler les antennes à des dipôles de Hertz de hauteur $2h$.

Dans cette formule les intensités doivent être exprimées en ampères, les longueurs en kilomètres, la résistance en ohms.

Cette formule a été vérifiée par Austin, qui a trouvé qu'elle ne concordait pas avec les résultats expérimentaux. Il a donc donné une autre formule, qui, sans être parfaite, comme nous le verrons plus loin, donne des résultats sensiblement meilleurs que la formule précédente.

b) *Formule d'Austin-Cohen.* — On ne dispose actuellement, comme formules de propagation, que de relations empiriques dont la plus acceptable, tout au moins pour les petites et les moyennes distances (1), est celle d'Austin-Cohen à laquelle on peut donner la forme

(1) La mission de l'« Aldébaran » a permis de vérifier, avons-nous dit, que la formule d'Austin donne des résultats nettement inférieurs à la réalité pour des portées supérieures à 4 000 km, et cela d'autant plus que l'onde est plus grande.

(1) *La Lumière électrique*, 1908, t. IV, p. 323, et 1910, t. II, p. 134; *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 18 octobre 1909.

suivante (en négligeant les effets de la courbure de la Terre)

$$hI = \frac{10^{-6}}{377} \varepsilon \lambda d e^{-0,00017 \frac{d}{\sqrt{\lambda}}}$$

où h est la hauteur de rayonnement de l'antenne d'émission en mètres;

I , l'intensité du courant à la base de l'antenne en ampères;

ε , le champ électrique vertical produit à la distance d , en microvolts par mètre;

λ , la longueur d'onde en mètres;

d , la distance en mètres.

Si l'on fixe la valeur ε et si l'on considère le produit hI comme une seule variable, la formule de propaga-

tion devient une relation entre les trois variables hI , d et λ , qui peut être représentée graphiquement de diverses façons. Par exemple sur la figure 1 est représenté un abaque à double alignement qui permet de déduire une des deux premières variables quand les deux autres sont données. La façon de l'utiliser est indiquée dans le graphique en bas et à gauche (1). On remarquera que l'abaque contient deux échelles pour les λ ; sur l'une d'elles λhI , on prend les points à joindre à ceux de l'échelle hI , sur l'autre λd on prend les points à aligner avec ceux de l'échelle des d . Les deux alignements doivent se couper en un point appartenant à l'axe auxiliaire non gradué tracé à la portée supérieure de l'abaque.

Au lieu d'un abaque, on peut utiliser des tables à

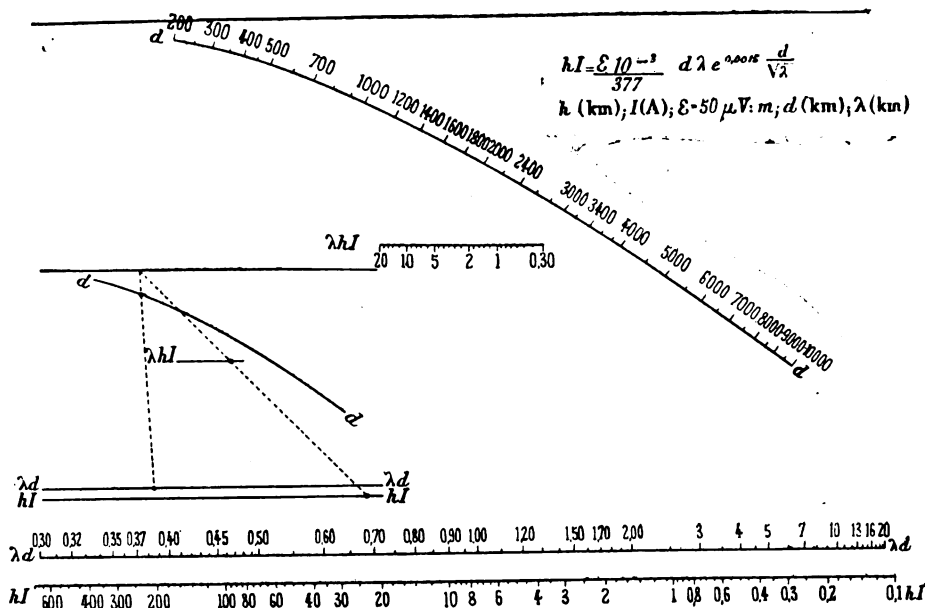


Fig. 1.

double entrée, comme par exemple les tables I et II (pages 488 et 489), dont la première donne le produit hI en fonction de d et λ , données relatives à la puissance nécessaire dans l'antenne émettrice pour atteindre une certaine portée avec une certaine longueur d'onde; la seconde donne d en fonction de hI et de λ , c'est-à-dire la portée que l'on peut atteindre pour un hI donné relatif à l'antenne émettrice, et avec une certaine longueur d'onde. Les tables et l'abaque ont été calculés en donnant au facteur exponentiel la valeur

$$e^{-0,0015 \frac{d}{\sqrt{\lambda}}}$$

et en exprimant d et λ en kilomètres. On a supposé en outre

$$\varepsilon = 50 \text{ microvolts : mètre,}$$

Naturellement si l'on veut obtenir des résultats relatifs à $\varepsilon = 10$, ou bien à $\varepsilon = 250$, il suffit de diviser ou de multiplier respectivement par 5 les valeurs de hI

(comme on l'a déjà fait par exemple dans la table II); il en serait de même pour toute autre valeur de ε .

La formule de propagation étant admise, il est facile de calculer la longueur d'onde la plus favorable, c'est-à-dire celle qui entraîne hI minimum pour une distance donnée. On obtient alors la relation parabolique

$$\lambda_{(m)} = 562 \times 10^{-6} d^2,$$

d étant exprimé en kilomètres.

Remarque. — Le facteur exponentiel est donné par certains auteurs sous la forme

$$e^{-0,00017 \frac{d}{\sqrt{\lambda}}};$$

par d'autres, sous la forme

$$e^{-0,0015 \frac{d}{\sqrt{\lambda}}}.$$

(1) G. VALLAURI. *Elettrotecnica*, 6 novembre 1921, t. VII p. 662.

Cela tient à ce que, dans le premier cas, toutes les longueurs sont évaluées en mètres, et, dans le second cas, en kilomètres.

III. Formules de transmission de l'énergie entre deux antennes. — De nombreuses mesures ont été faites à diverses reprises en vue d'établir des formules donnant l'énergie reçue par une antenne en fonction de l'énergie émise par une autre antenne.

En Amérique, les premières mesures quantitatives intéressantes furent faites en 1909 et 1910 par W. Austin entre la station réceptrice de Brant Rock et des croiseurs de l'Atlantique. En 1913, ces expériences furent reprises par la Marine américaine entre Arlington et le croiseur Salem. Enfin, en 1915 et 1919, W. Austin a fait deux nouvelles séries de mesures qui lui ont permis d'obtenir les résultats suivants :

A. FORMULES D'AUSTIN. — Désignons par h la hauteur effective de l'antenne, par H la hauteur du cadre, par I l'intensité, par λ la longueur d'onde, par R la résistance du circuit récepteur, par d la distance entre les antennes (ou cadres) d'émission et de réception. Attribuons à ces variables les indices e ou r , suivant qu'il s'agit d'émission ou de réception.

L'expression de l'intensité reçue dans une antenne, en émettant des ondes entretenues au moyen d'une autre antenne est, si l'on néglige l'absorption,

$$I_r = 120 \pi \frac{I_e h_e h_r}{\lambda d R}. \quad (1)$$

Les unités employées dans cette formule sont l'ampère, l'ohm, le mètre.

Or, la théorie démontre qu'un cadre vertical rectangulaire de N tours, de hauteur H , de largeur L , équivaut à deux antennes verticales de hauteur effective NH à la distance L , les courants respectifs dans ces deux antennes étant en opposition de phase. Si l'on tient compte de la différence de phase due à la différence de trajet, soit en émettant vers un point P, soit en recevant de ce point P, l'effet sera le même que celui d'une antenne de hauteur NH multiplié par la différence de phase $2\pi \frac{L}{\lambda} \cos \theta$, où θ est l'angle entre le plan du cadre et la direction du point P.

Si à l'une ou l'autre des antennes précédentes on substitue un cadre, il faut remplacer sa hauteur par

$$NH 2\pi \frac{L}{\lambda} \cos \theta,$$

où NH est le produit de la hauteur du cadre par le nombre de tours.

Il vient donc :

1 Pour un cadre émetteur et une antenne réceptrice

$$\begin{aligned} I_r &= 120 \pi \frac{I_e N_e H_e}{\lambda d} 2\pi \frac{L_e}{\lambda} \cos \theta_e \frac{h_r}{R} \\ &= 2369 \frac{I_e N_e H_e L_e h_r}{\lambda^2 d R} \cos \theta_e. \end{aligned}$$

2. Pour une antenne émettrice et un cadre récepteur, on a de même

$$I_r = 2369 \frac{I_e h_e N_r H_r L_r}{\lambda^2 d R} \cos \theta_r.$$

3 Pour un cadre émetteur et un cadre récepteur

$$I_r = 14880 \frac{I_e N_e H_e L_e N_r H_r L_r}{\lambda^2 d R} \cos \theta_e \cos \theta_r.$$

La hauteur effective h d'une antenne ordinaire équivalent à un cadre NH peut être exprimée, si $\theta = 0$, c'est-à-dire dans la direction optimum, par

$$h = 2\pi \frac{NHL}{\lambda} = \frac{2\pi \times S \times N}{\lambda},$$

où S est la surface moyenne d'une spire.

A ce propos, il peut être intéressant de faire remarquer par un exemple numérique la faible valeur de la hauteur effective maximum d'un cadre. Soient : $N = 20$ tours, $S = 2 \text{ m}^2$, $\lambda = 800 \text{ m}$.

On a

$$h = \frac{2\pi \times 20 \times 2}{800} = 0,30 \text{ m environ.}$$

On conçoit aisément que l'on n'ait pu utilement employer les cadres que lors de l'apparition des amplificateurs. A l'émission, il faut avoir recours à un grand cadre ou à une antenne ouverte.

Facteur d'absorption. — Dans les formules précédentes, on a supposé la distance entre la station réceptrice et émettrice inférieure à 100 km. Pour les distances plus grandes, il faut faire intervenir un facteur de correction en vue de tenir compte de l'absorption des ondes, facteur variable avec la longueur d'onde. Cohen donne comme valeur du facteur de correction, comme nous l'avons dit précédemment

$$e^{-\frac{0,000047 d}{\sqrt{\lambda}}}$$

C'est par ce facteur qu'il faut multiplier le second membre des équations précédentes pour tenir compte de l'absorption des ondes au cours de leur propagation dans l'espace.

Vérification de ces formules. — Des expériences ont été faites entre le Laboratoire naval de Washington et la station d'Arlington en vue de vérifier ces formules.

Les signaux émis par Arlington furent reçus au laboratoire sur deux cadres; l'un était un radiogoniomètre monté sur le toit d'un des bâtiments et ayant 56 spires enroulées serrées, une hauteur de 1,82 m et une largeur de 1,29 m. Le second cadre, supporté par des mâts, avait 7 tours distants de 80 cm et mesurait 21,6 m \times 24,4 m. θ était égal à 42° .

Les résultats obtenus sont indiqués dans les tableaux I et II.

TABEAU I.

Arlington émet sur arc. Le laboratoire reçoit sur radiogoniomètre.

| λ mètres | COURANT REÇU, EN AMPÈRES | | DIFFÉRENCE | DIFFÉRENCE en pour 100 |
|-------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| | observé | calculé | | |
| 6 000 | $208,0 \times 10^{-6}$ | $157,5 \times 10^{-6}$ | 60,5 | 24 |
| 7 500 | $126,1 \times 10^{-6}$ | $100,8 \times 10^{-6}$ | 27,3 | 21 |
| 10 000 | $67,5 \times 10^{-6}$ | $56,7 \times 10^{-6}$ | 10,8 | 16 |
| $I_e = 100$ A $h_e = 71$ m | $N = 56$ $H = 1,84$ m | | $L = 1,20$ m $R = 50$ ohms | $\theta = 0^\circ$ $d = 7 800$ m |

TABEAU II.

Arlington émet sur arc. Le laboratoire reçoit sur grand cadre.

| λ mètres | COURANT REÇU, EN AMPÈRES | | DIFFÉRENCE | DIFFÉRENCE en pour 100 |
|-------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| | observé | calculé | | |
| 1 000 | $8,78 \times 10^{-3}$ | $7,38 \times 10^{-3}$ | 1,40 | 16 |
| 6 000 | $3,71 \times 10^{-3}$ | $3,28 \times 10^{-3}$ | 0,43 | 12 |
| 7 500 | $2,26 \times 10^{-3}$ | $3,28 \times 10^{-3}$ | 0,16 | 7 |
| 10 000 | $1,23 \times 10^{-3}$ | $3,28 \times 10^{-3}$ | 0,05 | 4 |
| $I_e = 100$ A $h_e = 71$ m | $N = 7$ $H = 21,6$ m | | $L = 24,4$ m $R = 50$ ohms | $\theta = 42^\circ$ $d = 7 800$ m |

Le tableau III donne l'intensité du courant reçu dans une antenne à Arlington, le laboratoire émettant sur un grand cadre. Dans les trois cas, les courants reçus furent mesurés au moyen de détecteurs shuntés et des galvanomètres étalonnés et vérifiés pour donner une déviation proportionnelle au carré de l'intensité.

TABEAU III.

Le laboratoire émet sur un grand cadre. Arlington reçoit sur antenne.

| λ mètres | COURANT REÇU, EN AMPÈRES | | DIFFÉRENCE | DIFFÉRENCE en pour 100 |
|-----------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| | observé | calculé | | |
| 2 800 | $147,8 \times 10^{-6}$ | $150,8 \times 10^{-6}$ | - 3,0 | 2 |
| 4 800 | $50,5 \times 10^{-6}$ | $49,5 \times 10^{-6}$ | + 1,0 | 3 |
| $I_e = 1$ A $h_e = 71$ m | $N = 7$ $H = 21,6$ m | | $L = 24,4$ m $R = 50$ ohms | $\theta = 42^\circ$ $d = 7 800$ m |

On constate que les valeurs observées des tableaux I et II sont plus grandes que les valeurs calculées. Ceci pourrait être dû, d'après Austin, à une action du cadre comme antenne, puisque une augmentation de la longueur des conducteurs accroît la différence. La raison de l'augmentation de l'erreur pour les plus courtes longueurs d'onde n'a pas encore été trouvée.

Il semble, d'après les bons résultats du tableau III, que l'émission sur cadre et la réception sur antenne, constituent la méthode la plus exacte pour déterminer la hauteur effective d'une antenne.

Le tableau IV donne les hauteurs effectives d'antennes qui, pour l'émission ou la réception, sont équivalentes

à des cadres; ces hauteurs effectives sont calculées d'après l'équation

$$h = 2\pi \frac{NHL}{\lambda} = 2\pi \times \frac{S \times N}{\lambda}.$$

TABEAU IV.

| λ mètres | HAUTEUR EFFECTIVE D'ANTENNE ÉQUIVALENTE (mètres) | | | | |
|-------------|--------------------------------------------------|--------|--------|---------|---------|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| | SURFACE DU CADRE \times TOURS (mètres carrés) | | | | |
| 200 | 300 | | | | |
| 500 | 700 | 1 592 | 2 388 | | |
| 1 000 | 1 592 | 3 184 | 4 776 | 6 370 | |
| 2 000 | 3 185 | 6 370 | 9 552 | 12 740 | 15 910 |
| 3 000 | 4 776 | 9 554 | 14 280 | 19 100 | 23 880 |
| 5 000 | 7 960 | 15 920 | 23 880 | 31 840 | 39 800 |
| 7 000 | 11 140 | 22 280 | 33 450 | 44 580 | 55 760 |
| 10 000 | 15 120 | 31 840 | 47 760 | 63 700 | 79 600 |
| 12 000 | 19 010 | 38 220 | 57 330 | 76 410 | 95 520 |
| 15 000 | 23 880 | 47 760 | 71 610 | 95 520 | 119 400 |
| 20 000 | 31 840 | 63 780 | 95 520 | 127 400 | 159 200 |

B. FORMULES DU BUREAU OF STANDARDS. — Le Bureau of Standards américain emploie des formules quelque peu différentes des précédentes. Ces formules sont les suivantes :

1° Si les ondes sont émises par une antenne et reçues par une autre antenne, on a

$$I_r = \frac{188 h_e h_r I_e}{R \lambda d}.$$

2° Si les ondes sont émises par un cadre et reçues par une antenne, on a

$$I_r = \frac{184 h_e N_r h_r L_e I_e}{\lambda^2 d R}.$$

3° Si les ondes sont émises par antenne et reçues par un cadre, on a

$$I_r = \frac{184 I_e N_e h_e L_e h_r}{\lambda^2 d R}.$$

4° Si les ondes sont émises par un cadre et reçues par un autre cadre, on a

$$I_r = \frac{7 450 I_e N_e h_e L_e N_r h_r}{\lambda^2 d R}.$$

Dans ces formules les hauteurs h_e et h_r sont les hauteurs réelles de l'antenne et non plus effectives, comme dans les formules d'Austin.

Facteur de correction. Pour les distances supérieures à 100 km, il faut multiplier le second membre des équations précédentes par le facteur

$$e^{-0,000017 \frac{d}{\sqrt{\lambda}}},$$

d et λ sont exprimés en mètres.

C. CAS DES ONDES AMORTIES. — Les groupes de formules que nous avons donnés précédemment sont relatifs au cas des ondes entretenues. Pour passer au cas des ondes amorties, il suffit de multiplier les seconds membres des formules par

$$\sqrt{\frac{S_r}{S_e + S_r}}$$

où S_e est le décrément de la transmission,

S_r , le décrément de la réception

On obtient ainsi l'intensité efficace dans l'antenne réceptrice.

Dans le cas des très grandes distances, Ryberinski conseille de multiplier les seconds membres des équations précédentes par $\sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}}$, θ étant l'angle géocentrique entre les deux stations.

D. COMPARAISON DES DEUX GROUPES DE FORMULES PRÉCÉDENTES. — Les formules d'Austin ont été établies en supposant le sol parfaitement conducteur, de sorte que

l'antenne et son image forment un oscillateur fictif de longueur égale à deux fois la hauteur de l'antenne. Les formules du Bureau of Standards ont été établies en supposant un oscillateur de longueur égale à la hauteur de l'antenne au-dessus du sol. En d'autres termes Austin suppose une image parfaite au-dessus du sol et le Bureau of Standards suppose qu'il n'y a pas d'image. La vérité est entre ces deux cas extrêmes.

Lorsque l'antenne est assez éloignée du sol (cas d'une antenne d'aéroplane, par exemple), les formules du Bureau of Standards doivent correspondre davantage à la réalité. Au contraire, pour une antenne sur un très bon sol conducteur ou pour une antenne de navire, il doit se produire un effet d'image important. En pratique cependant, à cause de la plus ou moins bonne conductibilité du sol, de la présence des pylônes métalliques, l'effet d'image est perdu en partie, de sorte que l'oscillateur équivalent à l'antenne a, en général, une longueur inférieure à deux fois la hauteur réelle de l'antenne. Austin tient compte de ce fait en prenant pour h_e et h_r dans ses formules la hauteur effective de l'antenne. Le Bureau of Standards, au contraire, prend pour h_e et h_r la hauteur réelle de l'antenne.

TABLE I. — Valeurs de $h l$ en kilomètres-ampères en fonction de d et λ .

| LONGUEURS D'ONDE λ en m | DISTANCES d EN KILOMÈTRES | | | | | | | | | | | | | LONGUEURS D'ONDE λ en m |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------------------------------|
| | 300 | 600 | 1 000 | 1 500 | 2 000 | 3 000 | 4 000 | 5 000 | 6 000 | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 | |
| 300 | 0,027 | 0,124 | 0,617 | 3,64 | 19,05 | 442 | 909,0 | | | | | | | 300 |
| 600 | 0,043 | 0,153 | 0,542 | 2,18 | 7,67 | 79,5 | 737,3 | | | | | | | 600 |
| 1 000 | 0,069 | 0,196 | 0,595 | 1,89 | 5,33 | 35,9 | 214,1 | 1196 | | | | | | 1 000 |
| 1 500 | 0,093 | 0,249 | 0,677 | 1,87 | 4,61 | 23,5 | 107,1 | 455 | 1 860 | | | | | 1 500 |
| 2 000 | 0,110 | 0,301 | 0,767 | 1,95 | 4,42 | 19,2 | 73,7 | 267 | 922 | | | | | 2 000 |
| 3 000 | 0,153 | 0,402 | 0,948 | 2,19 | 4,50 | 16,1 | 50,9 | 151 | 431 | 1 196 | | | | 3 000 |
| 4 000 | 0,200 | 0,499 | 1,125 | 2,45 | 4,76 | 15,1 | 42,7 | 112,5 | 287 | 710 | 1 713 | | | 4 000 |
| 5 000 | 0,244 | 0,595 | 1,301 | 2,73 | 5,08 | 14,9 | 38,8 | 94,8 | 336 | 509 | 1 134 | | | 5 000 |
| 6 000 | 0,287 | 0,691 | 1,471 | 3,00 | 5,42 | 15,1 | 36,9 | 85,1 | 188 | 406 | 856 | 1 775 | | 6 000 |
| 7 000 | 0,330 | 0,785 | 1,639 | 3,26 | 5,79 | 15,3 | 35,9 | 78,9 | 167 | 344 | 695 | 1 376 | | 7 000 |
| 8 000 | 0,374 | 0,879 | 1,806 | 3,53 | 6,15 | 15,6 | 35,4 | 75,4 | 154 | 305 | 590 | 1 134 | | 8 000 |
| 10 000 | 0,459 | 1,062 | 2,133 | 4,06 | 6,84 | 16,5 | 35,4 | 71,0 | 137 | 257 | 472 | 856 | 1 525 | 10 000 |
| 12 000 | 0,544 | 1,241 | 2,459 | 4,58 | 7,58 | 17,5 | 36,0 | 69,5 | 129 | 231 | 407 | 706 | 1 207 | 12 000 |
| 14 000 | 0,629 | 1,419 | 2,778 | 5,08 | 8,29 | 18,6 | 37,0 | 69,1 | 124 | 215 | 368 | 617 | 1 021 | 14 000 |
| 16 000 | 0,713 | 1,596 | 3,088 | 5,60 | 8,96 | 19,6 | 38,0 | 69,1 | 121 | 205 | 341 | 558 | 903 | 16 000 |
| 18 000 | 0,795 | 1,773 | 3,404 | 6,09 | 9,68 | 20,7 | 39,3 | 69,9 | 120 | 199 | 324 | 519 | 819 | 18 000 |
| 20 000 | 0,878 | 1,949 | 3,718 | 6,57 | 10,37 | 21,8 | 40,6 | 71,0 | 120 | 194 | 311 | 490 | 758 | 20 000 |

IV. Conclusions. — 1° Puisque le terme λ apparaît au dénominateur, il s'ensuit que, toutes choses égales d'ailleurs, le courant reçu sera d'autant plus grand que la longueur d'onde sera plus petite. On remarquera que, si l'on emploie deux antennes, le courant varie en sens inverse de la longueur d'onde; il varie en sens inverse du carré de la longueur d'onde si l'on emploie un cadre et en sens inverse du cube de la longueur d'onde si l'on emploie deux cadres. Pour les grandes portées, il faut tenir compte du facteur d'absorption qui est d'autant plus grand que la longueur d'onde est plus petite (ce que nous avons vu dans un chapitre

précédent). On peut donc conclure qu'en général, pour avoir un courant maximum dans l'antenne réceptrice, il faut employer des ondes courtes pour les faibles distances, et des ondes longues pour les grandes distances;

2° Il y a intérêt à employer des antennes de hauteurs effectives aussi grandes que possible;

3° On voit que les cadres sont inférieurs aux antennes tant au point de vue émission qu'au point de vue réception. Cette infériorité est compensée par le fait qu'on peut mettre plus de courant dans un cadre émetteur que dans une antenne et par le fait que la résis-

TABLE II. — Valeurs de d en kilomètres en fonction de hI et λ .

| $\lambda =$ | hI (km \times A) | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------------------------|-----|-------|---------------------------------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|
| | $\epsilon = 250 \frac{\mu V}{m}$ | | | $\epsilon = 50 \frac{\mu V}{m}$ | | | $\epsilon = 10 \frac{\mu V}{m}$ | | | $\epsilon = 300 m$ | | | $\epsilon = 600$ | | |
| | 10 | 25 | 5 | 10 | 20 | 35 | 50 | 100 | 200 | 350 | 500 | 1 000 | 1 500 | 2 000 | 3 000 |
| 0.1 | | 0.2 | 1 | 2 | 4 | 7 | 10 | 20 | 40 | 70 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| 0.04 | | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.4 | 2 | 4 | 8 | 14 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| 300 m | 710 | 930 | 1 130 | 1 320 | 1 530 | 1 710 | 1 810 | 2 020 | 2 230 | 2 410 | 2 520 | 2 730 | 2 870 | 2 970 | 3 040 |
| 600 | 660 | 930 | 1 200 | 1 460 | 1 740 | 1 970 | 2 110 | 2 400 | 2 700 | 2 960 | 3 100 | 3 400 | 3 590 | 3 720 | 3 820 |
| 1 000 | 600 | 930 | 1 220 | 1 520 | 1 870 | 2 130 | 2 320 | 2 680 | 3 070 | 3 400 | 3 570 | 3 940 | 4 200 | 4 360 | 4 480 |
| 1 500 | 520 | 870 | 1 180 | 1 530 | 1 920 | 2 250 | 2 460 | 2 890 | 3 330 | 3 720 | 3 930 | 4 420 | 4 710 | 4 900 | 5 070 |
| 2 000 | 450 | 800 | 1 130 | 1 520 | 1 940 | 2 320 | 2 550 | 3 030 | 3 550 | 3 960 | 4 220 | 4 730 | 5 090 | 5 320 | 5 500 |
| 3 000 | 370 | 700 | 1 040 | 1 450 | 1 900 | 2 330 | 2 600 | 3 180 | 3 780 | 4 310 | 4 620 | 5 250 | 5 630 | 5 920 | 6 130 |
| 4 000 | 300 | 600 | 930 | 1 370 | 1 870 | 2 320 | 2 610 | 3 260 | 3 930 | 4 530 | 4 870 | 5 590 | 6 040 | 6 360 | 6 610 |
| 5 000 | 230 | 520 | 850 | 1 280 | 1 800 | 2 280 | 2 600 | 3 290 | 4 030 | 4 680 | 5 050 | 5 860 | 6 370 | 6 710 | 7 000 |
| 6 000 | 190 | 480 | 780 | 1 200 | 1 730 | 2 240 | 2 580 | 3 310 | 4 080 | 4 790 | 5 200 | 6 060 | 6 600 | 6 960 | 7 270 |
| 7 000 | | 430 | 730 | 1 130 | 1 660 | 2 180 | 2 540 | 3 320 | 4 140 | 4 900 | 5 320 | 6 220 | 6 810 | 7 220 | 7 560 |
| 8 000 | | 380 | 660 | 1 070 | 1 600 | 2 130 | 2 480 | 3 300 | 4 160 | 4 930 | 5 390 | 6 360 | 6 970 | 7 380 | 7 730 |
| 10 000 | | 320 | 570 | 960 | 1 490 | 2 020 | 2 360 | 3 250 | 4 200 | 5 020 | 5 510 | 6 570 | 7 230 | 7 710 | 8 080 |
| 12 000 | | 270 | 500 | 860 | 1 380 | 1 910 | 2 300 | 3 180 | 4 160 | 5 030 | 5 550 | 6 710 | 7 460 | 7 960 | 8 370 |
| 14 000 | | | 460 | 800 | 1 290 | 1 820 | 2 200 | 3 100 | 4 100 | 5 040 | 5 590 | 6 840 | 7 620 | 8 150 | 8 580 |
| 16 000 | | | 420 | 730 | 1 200 | 1 750 | 2 130 | 3 030 | 4 060 | 5 030 | 5 630 | 6 920 | 7 750 | 8 300 | 8 770 |
| 18 000 | | | 390 | 680 | 1 130 | 1 680 | 2 040 | 2 950 | 4 020 | 5 020 | 5 640 | 6 990 | 7 830 | 8 470 | 8 920 |
| 20 000 | | | 360 | 630 | 1 060 | 1 560 | 1 940 | 2 870 | 3 970 | 5 010 | 5 630 | 7 030 | 7 940 | 8 510 | 9 050 |

tance d'un cadre récepteur est, en général, inférieure à celle d'une antenne réceptrice. Enfin, avec un cadre émetteur, une plus grande partie de la puissance rayonnée est envoyée dans la direction désirée;

4° Les formules indiquées précédemment donnent des résultats un peu inférieurs à la réalité. En outre, on a constaté (mission du lieutenant de vaisseau Guierre à bord de l'Aldébaran), que pour de très

grandes distances, le facteur

$$= 0,000047 \frac{d}{\lambda}$$

donne des affaiblissements beaucoup trop grands (trois fois trop grands déjà pour 8 000 km),

G. MALGORN.

Lieutenant de vaisseau

Sur les feuillets magnétiques

A la suite de la publication dans un récent numéro de cette Revue d'une note de M. Liénard, nous recevons de M. E. Brylinski l'étude ci-dessous, dans laquelle l'auteur démontre qu'il serait peu prudent d'édifier une théorie du magnétisme à partir du feuillet magnétique, fiction mathématique sans réalité physique.

La très intéressante note publiée à ce sujet dans la Revue ⁽¹⁾ par M. Liénard me paraît appeler les remarques suivantes :

1. — J'ai expliqué — assez longuement pour qu'il ne soit pas opportun d'y revenir ici — au cours de la discussion actuellement pendante devant la Société française de Physique, pour quels motifs l'écriture

$$\mathcal{B} = \mathcal{H} + 4\pi\mathcal{J}$$

me paraissait défectueuse et devait être remplacée par la suivante

$$\mathcal{B} = \mu_0 \mathcal{H} + 4\pi\mathcal{J},$$

où μ_0 représente la perméabilité magnétique de l'éther. Ce redressement me paraît d'autant plus indispensable qu'il n'a pas été démontré, à ma connaissance du moins, que la perméabilité de l'éther conserve dans les corps matériels la valeur qu'elle a dans l'éther libre.

Si l'on rétablit μ_0 dans les équations successives de M. Liénard, on voit que l'on a

$$\int \frac{\mathcal{B}}{\mu} dS = \frac{4\pi \Sigma \mathcal{J}}{\mu_0}.$$

Cette rectification n'infirme d'ailleurs en rien les conclusions de M. Liénard en ce qui concerne la valeur de l'induction et des champs magnétiques à l'extérieur du feuillet.

2. — Mais je persiste à considérer le feuillet magnétique comme une pure conception théorique, ne correspondant à aucune réalité physique.

Il me semble que M. Liénard devrait aboutir lui-

même à cette conclusion, puisqu'il dit que le feuillet est un *cas limite*, cette limite étant d'ailleurs une limite mathématique, c'est-à-dire une limite qu'on ne peut jamais atteindre. L'épaisseur du feuillet est, par définition, *infinitement petite*, et le champ magnétique intérieur est *infinitement grand* (c'est l'élément essentiel de la démonstration fort séduisante de M. Liénard); or l'infinitement petit et l'infinitement grand sont de pures conceptions mathématiques qui, par définition même, ne correspondent à aucune réalité physique. Le feuillet magnétique théorique est donc essentiellement fictif.

On pourrait imaginer de réaliser des *pseudo-feuillets* ayant une épaisseur finie et se rapprochant énormément du cas théorique, comme les gaz anciennement dénommés permanents se rapprochent, aux températures habituelles, des gaz parfaits.

Ces pseudo-feuillets eux-mêmes, bien que ne comportant plus d'impossibilité de réalisation du fait de leur définition, se heurteraient à un autre obstacle, qui me paraît presque aussi grave. Ils consisteraient, en effet, en deux nappes de magnétisme, égales et opposées, très voisines. Or l'opinion s'affermirait de plus en plus généralement que la quantité de magnétisme, outil de calcul commode dans nombre de cas, n'a pas d'existence réelle. Comment pourrait-on, dans ces conditions, reconnaître une existence réelle à ces deux nappes, où la densité magnétique superficielle joue un rôle essentiel ?

3. — Enfin ces pseudo-feuillets, ou plutôt les feuillets eux-mêmes, puisque les premiers n'ont pas plus de réalité physique que les seconds, et que ces derniers possèdent l'avantage d'une définition mathématique bien nette, seraient des aimants d'une nature bien particulière.

Essayons, en effet, de nous rendre compte de ce que deviennent les notions usuelles dans leur intérieur.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 18 mars 1922, t. XI, p. 382-384.

La *perméabilité magnétique* devrait être infiniment petite, puisque l'induction reste finie alors que le champ croît indéfiniment. Or, s'il y a des corps dont la perméabilité est inférieure à l'unité, on ne connaît pas de corps diamagnétiques dont la susceptibilité magnétique ne soit pas très petite devant l'unité.

D'autre part, de l'équation (1) on déduit immédiatement la formule bien connue

$$\mu = \mu_0 + 4\pi\kappa,$$

de laquelle résulterait, μ étant infiniment petit, que la susceptibilité magnétique à l'intérieur du feuillet serait non seulement négative, mais égale en valeur absolue

à $\frac{1}{4\pi}$ dans tous les feuillets, quels qu'ils soient.

Enfin, le théorème fondamental du flux d'induction magnétique amènerait à des résultats également singuliers. Dans un tube d'induction magnétique partant d'une surface dS_1 ayant une quantité de magnétisme pour arriver à une autre surface dS_2 ayant une quantité de magnétisme $-Q'$ on a

$$\mathcal{B} dS = 2\pi Q' + 4\pi Q'' = 4\pi Q,$$

en posant

$$Q = \frac{Q''}{2} + Q'.$$

Dans ces formules Q' est la quantité de magnétisme Q contenue dans le tube d'induction en dehors des bases de départ et d'arrivée du tube, quantité qui est toujours nulle, puisqu'il n'existe pas de magnétisme libre, lorsqu'on envisage un tube de section appréciable au lieu d'un tube de section infiniment petite. En ce qui concerne les quantités de magnétisme existant sur chaque base, on convient, pour maintenir le coefficient 4π , que la quantité Q est répartie par moitié entre la face externe et la face interne de chaque base.

Si dès lors α est l'angle que fait l'induction à la surface de base avec la normale extérieure à cette surface, si l'on appelle \mathcal{J} la quantité de magnétisme par unité de surface sur la face envisagée de la base, et si la quantité Q'' est nulle, on a

$$\mathcal{B} dS = 4\pi \mathcal{J} dS_1 = \frac{4\pi \mathcal{J} dS}{\cos \alpha},$$

et par conséquent

$$\cos \alpha = \frac{4\pi \mathcal{J}}{\mathcal{B}} = \frac{4\pi \mathcal{J}}{\mu_0 \mathcal{H} + 4\pi \mathcal{J}} = \frac{4\pi \kappa}{\mu_0 + 4\pi \kappa}.$$

Or ici, \mathcal{B} reste fini alors que \mathcal{J} croît indéfiniment, de sorte que $\cos \alpha$, qui est nécessairement inférieur ou égal à l'unité devrait croître indéfiniment.

Essayons de prendre la question par un autre côté. Dans l'intérieur du feuillet, les lignes de force et d'induction sont, à la surface interne du feuillet, normales à cette surface. On a donc, à cette surface,

$$\mathcal{B} = 4\pi \mathcal{J}.$$

Mais on a également

$$\mathcal{B} = \mu_0 \mathcal{H} + 4\pi \mathcal{J},$$

ce qui exigerait, contrairement au résultat énoncé par M. Liénard, que \mathcal{B} fût simplement grand et que \mathcal{H} restât fini.

Dans ce cas, la force magnétomotrice interne du feuillet aurait pour valeur

$$\frac{4\pi \mathcal{J} \varepsilon}{\mu} = 4\pi \frac{\varepsilon}{\mu}.$$

Au lieu de

$$4\pi \frac{\varepsilon}{\mu_0}.$$

Ce qu'on pourrait à la rigueur expliquer en disant que, la distance entre les deux faces du feuillet étant infiniment petite, on ne trouve que de l'éther entre ces deux faces.

4. — Ces résultats contradictoires semblent indiquer que le feuillet constitue un ensemble très particulier, à l'intérieur duquel les lois ordinaires du magnétisme ne paraissent pas s'appliquer. Ils ne sont pas sans laisser quelque inquiétude sur la légitimité du raisonnement de M. Liénard; on peut se demander, en effet, s'il est permis d'envisager une ligne de force fermée traversant le feuillet, et si l'on ne devrait pas, au contraire, considérer le feuillet comme impénétrable aux lignes de force, ces dernières formant deux groupes: le premier partant de la face externe de la nappe positive pour rejoindre par l'extérieur la face externe de la nappe négative et le second allant, entièrement dans l'intérieur du feuillet, de la face interne positive à la face interne négative. Dans ce cas il n'y aurait pas de correspondance nécessaire entre la force magnétomotrice interne et la force magnétomotrice externe.

Il me semble résulter nettement de ces quelques remarques que le feuillet magnétique, conception de l'esprit ne répondant à aucune réalité physique et présentant des conditions internes très différentes de celles des aimants réels, ne doit être employé qu'avec de sérieuses précautions et qu'il serait peu prudent d'en constituer la base, ou, un élément fondamental, d'une théorie du magnétisme.

E. BRYLINSKI.

Sur les tensions et pressions Maxwell dans les aimants et les diélectriques

Au sujet de la discussion sur l'unité de champ magnétique et l'unité d'induction magnétique publiée dans le numéro de la R. G. E. du 1^{er} avril 1922, M. D. Berthelot avait rappelé une note de M. Gouy, présentée à une récente séance de l'Académie des Sciences. En raison de l'intérêt que présente cette note, nous la publions ci-après ⁽¹⁾.

1. — Dans une théorie célèbre, Maxwell, développant les idées de Faraday, a voulu renoncer aux actions à distance et expliquer les effets magnétiques et électriques par des tensions et des pressions, existant dans les milieux matériels comme dans le vide lui-même. Le milieu éthéré qui remplit tout l'espace et contient la matière subit, de proche en proche, des modifications de nature inconnue, qui font que les lignes de force tendent à se raccourcir et à se repousser mutuellement, et les forces qui en résultent sur la matière et l'électricité doivent être équivalentes aux forces à distance de la théorie classique.

Maxwell a donné sur ce sujet deux énoncés différents, où H est le champ et B l'induction :

a. Il y a une tension $\frac{1}{4\pi}BH - \frac{1}{8\pi}H^2$ suivant les lignes de force, et une compression $\frac{1}{8\pi}H^2$ suivant les directions perpendiculaires ; ce qui équivaut à une tension $\frac{1}{4\pi}BH$ suivant les lignes de force, et à une pression p valant en tous sens $\frac{1}{8\pi}H^2$.

b. Il y a une tension $\frac{1}{8\pi}BH$ suivant les lignes de force, et une compression égale suivant les directions perpendiculaires, ce qui équivaut à une tension $\frac{1}{4\pi}BH$ suivant les lignes de force, et à une pression p valant en tous sens $\frac{1}{8\pi}BH$ ⁽²⁾.

Je me propose d'examiner si les énoncés de Maxwell conduisent aux résultats connus d'autre part, pour les fluides aimantés ou polarisés, sans hystérésis, de perméabilité ou de pouvoir inducteur constants.

Je m'occuperai d'abord de l'énoncé a, en le prenant sous sa seconde forme (tension et pression p). Tout ce qui suit s'appliquera aux diélectriques comme aux aimants.

2. — Dans l'intérieur d'un fluide matériel, considérons un élément de volume dv . Un calcul direct montre

que les forces de Maxwell produisent sur cet élément une résultante, qui a pour composantes

$$(1) \quad X = \left[\frac{\mu-1}{8\pi} \frac{\partial H^2}{\partial x} + \frac{\mu}{4\pi} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right) \frac{\partial V}{\partial x} \right] dv$$

avec deux équations semblables. Même s'il n'y a ni magnétisme libre ni électricité libre, ce que nous supposons ⁽¹⁾, il existe donc une force pondéromotrice ; elle tend à déplacer l'élément dv suivant la direction où le champ augmente le plus vite, s'il est paramagnétique, ou en sens opposé, s'il est diamagnétique.

Si cette force agissait seule, elle produirait dans le fluide une pression hydrostatique P' , variable d'un point à un autre suivant l'équation

$$(2) \quad P' = \frac{\mu-1}{8\pi} H^2 + \text{const.}$$

3. — Considérons maintenant la surface de séparation de deux fluides 1 et 2. Appelons H_1 et H_2 les forces du champ près de la surface ; θ_1 et θ_2 , les angles qu'elles font avec la normale.

Occupons-nous d'abord des tensions. Le tube de la force H_1 , qui passe par le contour d'un élément ds de la surface, a pour section droite $ds \cos \theta_1$; la force de tension qu'il exerce sur ds est donc $\frac{\mu_1 ds}{4\pi} H_1^2 \cos \theta_1$,

et sa composante normale est $-\frac{\mu_1 ds}{4\pi} H_1^2 \cos^2 \theta_1$, en prenant positivement les composantes dirigées de 1 vers 2.

De même, la force de tension sur ds provenant de H_2 a pour composante normale $\frac{\mu_2 ds}{4\pi} H_2^2 \cos^2 \theta_2$.

Les composantes tangentielles de ces deux forces sont parallèles et de sens opposés ; leurs valeurs absolues sont

$$\frac{\mu_1 ds}{4\pi} H_1^2 \cos \theta_1 \sin \theta_1, \quad \frac{\mu_2 ds}{4\pi} H_2^2 \cos \theta_2 \sin \theta_2 ;$$

⁽¹⁾ On a alors

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0.$$

⁽¹⁾ Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 20 février 1922, t. CLXXIV, p. 510-515.

⁽²⁾ Dans son grand Traité, Maxwell donne l'énoncé a pour les aimants (t. II, chap. XI), et l'énoncé b pour les diélectriques (t. I, chap. V). Il semble que l'illustre physicien ait voulu ainsi proposer deux solutions différentes pour un même problème. Depuis lors, on a donné le plus souvent la préférence, à l'énoncé b, pour les aimants comme pour les diélectriques.

elles se font équilibre d'après les relations connues

$$(3) \quad \mu_1 H_1 \cos \theta_1 = \mu_2 H_2 \cos \theta_2, \quad H_1 \sin \theta_1 = H_2 \sin \theta_2$$

Aux composantes précédentes il faut ajouter celles qui résultent des pressions p , qui donnent respectivement les forces

$$\frac{ds}{8\pi} H_1^2; \quad - \frac{ds}{8\pi} H_2^2.$$

L'effet total est donc une force P'' ds normale à la surface, comptée positivement en allant de 1 à 2 :

$$(4) \quad P'' = \frac{1}{8\pi} [H_1^2(1 - 2\mu_1 \cos^2 \theta_1) - H_2^2(1 - 2\mu_2 \cos^2 \theta_2)].$$

4. — Soient P'_1 et P'_2 les valeurs des pressions P' de l'équation (2) pour nos deux fluides. La pression P exercée par le fluide 1 sur le fluide 2 (1) sera, à une constante près,

$$(5) \quad P = P'' + P'_1 - P'_2 = \frac{1}{8\pi} [\mu_1 H_1^2 (1 - 2 \cos^2 \theta_1) - \mu_2 H_2^2 (1 - 2 \cos^2 \theta_2)],$$

c'est-à-dire, d'après (3),

$$(5bis) \quad P = \frac{1}{8\pi} H_1^2 \left[\mu_1 - \mu_2 + \frac{(\mu_1 - \mu_2)^2}{\mu_2} \cos^2 \theta_1 \right]$$

ou bien

$$(5ter) \quad P = \frac{1}{8\pi} H_1^2 [\mu_1 - 1 + (\mu_1 - 1)^2 \cos^2 \theta_1] - \frac{1}{8\pi} H_2^2 [\mu_2 - 1 + (\mu_2 - 1)^2 \cos^2 \theta_2].$$

Si le fluide 2 avait la perméabilité unité (vide par exemple), on aurait donc

$$(6) \quad P = \frac{1}{8\pi} H_1^2 [\mu_1 - 1 + (\mu_1 - 1)^2 \cos^2 \theta_1] = 2\pi I_1^2 \left(\frac{1}{\mu_1 - 1} + \cos^2 \theta_1 \right),$$

I_1 étant l'aimantation.

C'est bien la valeur de P , d'après la formule de M. Liénard, dont j'ai donné récemment une démonstration élémentaire (2).

Supposons maintenant que les fluides 1 et 2 soient séparés par une couche très mince et flexible d'un corps 3, de perméabilité quelconque. Les relations (3)

(1) C'est la force normale, dirigée de 2 vers 1, qu'il faudrait appliquer à l'unité de surface pour maintenir l'équilibre.

(2) *Comptes rendus*, t. CLXXIV, 1922, p. 264. Le mémoire de M. Liénard est dans *La Lumière électrique*, 1894, t. LII.

subsistent. La pression exercée par 1 sur 3 sera, d'après (5ter),

$$\frac{1}{8\pi} H_1^2 [\mu_1 - 1 + (\mu_1 - 1)^2 \cos^2 \theta_1] - \frac{1}{8\pi} H_3^2 [\mu_3 - 1 + (\mu_3 - 1)^2 \cos^2 \theta_3];$$

celle qu'exerce 3 sur 2 sera

$$\frac{1}{8\pi} H_3^2 [\mu_3 - 1 + (\mu_3 - 1)^2 \cos^2 \theta_3] - \frac{1}{8\pi} H_2^2 [\mu_2 - 1 + (\mu_2 - 1)^2 \cos^2 \theta_2].$$

La somme algébrique de ces deux pressions est le second membre de (5ter). Ainsi la pression qu'exerce le fluide 1 sur le fluide 2 est la même, qu'ils soient en contact direct, ou séparés par une enveloppe mince et flexible.

Pour que ce qui précède soit applicable, il suffit qu'on puisse regarder μ comme sensiblement constant, ce qui est le cas des liquides, et même des gaz ordinaires, à cause de leur faible susceptibilité.

5. — Considérons maintenant les changements de volume des fluides dans un champ magnétique. La pression P'' est une force superficielle, comparable à la pression $2\pi\sigma^2$ sur un conducteur, et ne peut influer que par son action mécanique (1). La pression P'' , au contraire, est une pression hydrostatique interne qui doit produire les mêmes effets que toute autre. On pourra donc calculer la densité d'après elle en y joignant, bien entendu, les autres pressions internes résultant, par exemple, de la pesanteur et de la pression atmosphérique.

La loi de compressibilité peut dépendre de l'aimantation, si celle-ci modifie les forces moléculaires. La détermination peut en être faite en supposant le fluide enfermé dans une enveloppe mince, dans le vide, de telle sorte que le champ H_1 soit constant; on a alors

$P'' = \text{const.}$ En un point de l'enveloppe où $\theta_1 = \frac{\pi}{2}$, on a $P = 0$, et la pression exercée mesure la pression interne du fluide.

Pour les gaz, les forces moléculaires ne sont pas modifiées par l'aimantation; cela est démontré par ce fait que leur susceptibilité *massique* est constante. Considérons un électro-aimant, placé dans le vide, et de l'oxygène dans une enveloppe mince. Celle-ci, au début, était éloignée; on l'amène dans le champ uniforme, on fait varier son volume, on la ramène en son lieu primitif et à son premier état. Le travail dans ce cycle isotherme étant nul, il en résulte que le gaz, dans le champ, suit la même loi de compressibilité qu'au dehors (2).

(1) Par exemple, elle peut équilibrer une partie de la pression atmosphérique.

(2) On se rappelle que, pour les gaz, $\mu - 1$ est très petit; P'' est du second ordre, et nous le négligeons.

Supposons maintenant que l'électroaimant soit dans une atmosphère d'oxygène. La densité dans le champ, comparée avec celle du dehors, est plus grande dans le rapport

$$\frac{P'}{P_0} = 1 + \frac{\mu - 1}{8\pi} \frac{H^2}{P_0},$$

en appelant P_0 la pression hors du champ.

D'autre part, si, dans le champ, on enferme un certain volume d'oxygène dans une enveloppe mince, qu'on l'amène hors du champ, et qu'on laisse le gaz se dilater jusqu'à la pression P_0 , on trouve le résultat ci-dessus par un calcul énergétique très simple.

Ainsi l'énoncé (a) donne toujours des résultats exacts, en tenant compte de la force pondéromotrice produisant la pression P' .

Tout ce que nous avons dit s'applique aussi bien aux fluides diélectriques qu'aux fluides aimantés, en remplaçant la perméabilité μ par le pouvoir inducteur K .

6. — L'énoncé (b), soumis au calcul comme plus haut, donne pour la pression P le résultat exact : mais,

chaque élément de volume à l'intérieur étant en équilibre de lui-même, la pression hydrostatique P' n'existe pas. Les seules forces pondéromotrices seraient donc aux surfaces. C'est là, évidemment, un point de vue trop artificiel, qui laisse inexplicé, entre autres, ce fait que, dans une atmosphère indéfinie, le gaz se rapproche d'un corps électrisé, ou bien d'un aimant s'il est paramagnétique, et s'en éloigne s'il est diamagnétique.

Il paraît donc que l'énoncé (a) de Maxwell doit être conservé, bien qu'il faille sans doute renoncer à rattacher ces forces à la théorie de l'élasticité. Elles restent comme un jalon pour la théorie qui pourra un jour rendre compte de l'électricité et du magnétisme par une action de milieu.

En attendant, elles peuvent avoir des applications intéressantes, permettant de traiter simplement bien des problèmes, notamment pour les corps de faible susceptibilité, où le champ intérieur H est immédiatement connu.

G. GOUY,
Professeur

à la Faculté des Sciences de Lyon.

Revue, analyses et informations

Doit-on donner des noms différents à l'unité de champ magnétique et à l'unité d'induction magnétique (suite et fin) (1)?

OBSERVATIONS DE M. E. BRYLINSKI. — L'auteur rappelle les définitions qu'il adopte, sans prétendre en être l'auteur.

L'instrument d'exploration du champ magnétique est pour lui l'aiguille aimantée, courte et très fine, afin d'éviter les phénomènes accessoires d'aimantation induite qui compliquent les résultats dans les autres cas. La direction de l'aiguille indique celle du champ; de la période d'oscillation libre on déduit une valeur proportionnelle à l'intensité du champ.

Si l'on considère un fil rectiligne indéfini, parcouru par un courant i placé dans un milieu isotrope indéfini, on constate l'existence en chaque point d'un champ magnétique perpendiculaire au plan contenant le point et le fil, proportionnel à i , inversement proportionnel à la distance r du point au fil, le coefficient de proportionnalité étant indépendant, ce qui est un résultat expérimental, de la nature du fil et de celle du milieu. L'expérience ayant pour but de définir H en fonction de i , il est normal de considérer ce coefficient invariable comme étant purement numérique, et la suite des calculs amène à lui donner la valeur 2.

Il est aisé d'étendre ce résultat à un courant quelconque.

La définition de l'induction se déduit de la force électromotrice induite

$$E = - \frac{d\Phi}{dt}$$

dans un circuit de dimensions assez petites pour que l'induc-

tion puisse y être considérée comme pratiquement constante. L'intensité d'aimantation s'en déduit par la formule

$$\mathcal{B} = \mu_0 \mathcal{H} + 4\pi J$$

qui est celle qu'on obtient quand on rétablit dans la théorie de Maxwell la perméabilité de l'éther partout où elle doit figurer dans les formules.

M. Pomey préfère assimiler cette nouvelle grandeur à un champ, et la définir par l'équation

$$\frac{\mathcal{B}}{\mu_0} = \mathcal{H} + 4\pi J.$$

Cette proposition mérite d'être examinée; elle définit une grandeur nouvelle, qui n'est plus l'intensité d'aimantation, et qu'il faudrait dénommer.

Ces définitions sont suffisantes pour traiter, je le crois du moins, avec toute la rigueur scientifique, les questions qui peuvent intéresser la technique. On peut cependant les trouver moins bonnes que celles de M. Langevin; tout en les considérant comme largement suffisantes pour des techniciens, je ne verrais pas, sous réserve d'un examen plus approfondi, d'objection à me rallier aux définitions de M. Langevin.

Ma définition de l'induction est, je crois, classique; je me permets dès lors de revendiquer le droit de conserver le nom d'induction à la grandeur que j'envisage.

Si certains traités donnent successivement la définition primitive de Maxwell et celle que je viens de rappeler, il appartiendrait à leurs auteurs de vérifier si ces deux définitions sont cohérentes. Ils s'apercevraient alors qu'il n'en est ainsi que lorsqu'on admet à priori que la perméabilité magnétique est un pur nombre.

(1) R. G. E., 1^{er} avril 1922, t. XI, p. 461-462. Pour les discussions antérieures, sur le même sujet, se reporter à la note (1), p. 461 du numéro R. G. E., indiqué ci-dessus.

RÉPONSE DE M. HADAMARD SUR UN POINT DE L'EXPOSÉ DE M. BRYLINSKI. — L'auteur observe que l'arbitraire introduit par Maxwell dans la définition de la force magnétique n'a rien de surprenant et correspond parfaitement à la nature des choses. Chaque composante du champ dû à l'action d'une masse magnétique continue est représentée par une intégrale triple. Or, pour un point situé à l'intérieur de la masse attirante, chacune de ces intégrales est dépourvue de sens : on ne peut lui en donner un que moyennant une convention supplémentaire et le résultat obtenu varie suivant cette convention. Quoi qu'une telle conclusion puisse avoir au premier abord de déconcertant pour le sens commun, la raison éclairée par la logique mathématique ne peut s'y dérober.

Physiquement parlant, la conclusion à tirer est autre : mais c'est parce que l'hypothèse initiale d'un milieu magnétique continu n'est pas la vraie. Par contre, ce qui précède conduit à penser que la force magnétique à l'intérieur d'un corps magnétique est influencée par la structure moléculaire voisine, et cela d'une manière beaucoup plus effective et beaucoup plus intense que ne l'est le champ électrique, par exemple. On peut se demander si l'étude de cette force magnétique, on admettant qu'on trouve le moyen de la rendre accessible à l'expérience, ne serait pas particulièrement importante pour la connaissance de la structure intime de la matière.

OBSERVATION DE M. LIÉNARD AU SUJET DE L'EXPOSÉ DE M. POMEY. — M. Pomey a déclaré dans une précédente séance que, convaincu d'abord que B et H représentaient des entités bien distinctes, il avait finalement reconnu qu'il n'y avait pas d'absurdité à les considérer comme de même nature.

Parti, au contraire, de l'idée bien arrêtée que B et H représentaient des grandeurs de même nature, je me suis ensuite rendu compte qu'on peut, si l'on y tient, les considérer comme de nature différente, mais à la condition de modifier les définitions de Maxwell pour l'une au moins de ces grandeurs.

C'est la définition de l'induction qui a été surtout mise en cause dans les discussions. Il me semble cependant que les besoins des techniciens conduiraient plutôt à modifier la définition du champ. En effet, les techniciens ne mesurent jamais un champ par l'action sur l'aiguille aimantée. Ils utilisent uniquement la relation $\int H \, dl = 4\pi NI$, d'où l'on déduit, rigoureusement pour la méthode du tore en vertu de la symétrie et approximativement pour le cas d'une bobine longue et étroite, la relation.

$$H = \frac{4\pi NI}{e}$$

Autrement dit, les techniciens ne mesurent pas le champ par une application directe de la définition, mais indirectement, en évaluant la force magnétomotrice par unité de longueur capable de produire ce champ. Cette manière de faire conduit instinctivement les techniciens à identifier le champ à une force magnétomotrice. De là l'impression chez les techniciens, comme le remarquait M. Janet, que le champ est la cause de l'induction. En réalité, la cause, c'est la force magnétomotrice tandis que le champ et l'induction (définis à la manière de Maxwell) sont, au même titre, des effets de cette force magnétomotrice. Pour rétablir la correspondance entre la représentation que les techniciens se font des phénomènes et la définition du champ, il faudrait donc changer cette définition ou, mieux, pour éviter toute confusion, intro-

duire un *néo-champ* défini comme étant une force magnétomotrice par unité de longueur ⁽¹⁾. La définition proposée pour H par M. Langevin revient également à la mesure d'une force par unité de longueur.

QUESTION POSÉE PAR M. ABRAHAM. — Il demande si les définitions du champ H et de l'induction B proposées séparément par M. Langevin et par M. Brylinski sont considérées par leurs auteurs comme exactement équivalentes entre elles, ou bien si ces auteurs considèrent leurs définitions comme non équivalentes et, par conséquent, comme incompatibles. Il regrette de ne pas avoir le temps, dans cette séance, de montrer comment l'examen des faits expérimentaux qui servent de base à ces définitions paraît conduire à la nécessité de supprimer toute distinction essentielle entre les *champs* et les *inductions* ainsi définis.

NOUVELLES OBSERVATIONS DE M. POMEY. — La définition de l'induction magnétique est donnée par Maxwell, dans son traité à l'art. 592. « ... Conformément à la théorie de Faraday, les phénomènes de force électromagnétique et d'induction dans un circuit dépendent de la variation du nombre de lignes d'induction magnétique qui traversent le circuit. Or ce nombre a pour *expression mathématique* l'intégrale de surface de l'induction magnétique à travers toute surface bordée par le circuit. Donc nous devons regarder le vecteur

\vec{B} et ses composantes a, b, c comme représentant ce que nous avons déjà appris à connaître comme l'induction magnétique et ses composantes », et il ajoute quelques lignes plus loin : « en identifiant ce vecteur, nous donnons un nom à une *quantité mathématique* et la convenance de faire ainsi doit être jugée par l'accord des relations de cette quantité mathématique avec celles de la quantité physique désignée par son nom... Or \vec{B} appartient à la catégorie des flux. » Le paragraphe 597 intitulé « quatre définitions de la ligne d'induction magnétique » développe les définitions expérimentales qui en résultent, soit qu'on envisage la force mécanique sur une « pièce glissante », soit la force électromotrice.

Dans le calcul fait par Poincaré pour déduire des équations de Lagrange les équations du champ électromagnétique et la force pondéromotrice sur un électron, il emploie le système C. G. S., mais si l'on restitue l'expression de l'énergie magnétique de Maxwell en BH , on arrive à une force pondéromotrice dépendant de B et non de H . D'autre part, Lorentz en a déduit la loi d'induction pour les conducteurs parcourus par des courants de conduction, envisagés comme dus au mouvement des électrons. Il en résulte que les définitions de l'induction données par M. Langevin au moyen de la force pondéromotrice sur l'électron en mouvement ou de M. Brylinski par un phénomène d'induction sont cohérentes et l'on peut pour le phénomène d'induction envisager soit l'action mécanique, soit la force électromotrice.

(1) Il y a d'autant moins de raisons de supprimer l'ancienne définition, qu'elle doit sembler préférable aux constructeurs d'appareils de mesure à aimant mobile.

Quelques mots seulement sur l'induction : M. Abraham a montré que la définition de M. Langevin suppose l'existence d'une cavité infiniment plate pour y placer le courant d'épreuve. La définition revient donc à celle de Maxwell, sauf que l'on mesure l'effort exercé sur un courant et non sur un aimant. Les deux mesures reviennent au même si l'on écrit la loi d'équivalence entre aimants et courants sous la forme $I = P$ sans coefficient, comme la théorie électronique conduit logiquement à le faire, le courant équivalent n'étant qu'une moyenne à variation continue des courants d'électrons très variables en grandeur et direction.

Sur les surfaces de discontinuité.

Cette note, présentée par M. CAMICHEL à la séance du 6 mars 1921 de l'Académie des Sciences ⁽¹⁾, est relative à l'étude expérimentale des surfaces de discontinuité des vitesses et des dérivées premières des vitesses.

I. -- Les surfaces de discontinuité, mises en évidence expérimentalement, comme l'a déjà indiqué M. Camichel ⁽²⁾, peuvent être comparées à celles que l'on obtient par le calcul dans certains cas particuliers, en supposant le fluide parfait et en admettant l'existence d'un potentiel des vitesses. Ce calcul a été fait, par la méthode de Schwarz et Christoffel, dans le cas d'une lame plane normale à un courant d'eau indéfini. L'expérience a été réalisée au moyen d'une plaque de 3 cm de largeur, placée dans un ajutage ayant comme longueur 40 cm et comme section 3 cm \times 15 cm; la vitesse moyenne de l'eau avant l'obstacle étant, par exemple, 1,48 m : s. Dans ce cas, la surface de discontinuité a une portion nette beaucoup plus restreinte que lorsque la lame est faiblement inclinée sur la direction du courant. Bien que le milieu ne puisse être considéré comme indéfini, la concordance des premiers éléments de la surface de discontinuité observée et calculée est remarquable sur une longueur de 1 cm environ. Au delà, les tourbillons mélangent les deux zones et la surface de discontinuité perd sa netteté; mais, on peut voir que la surface observée se détache de la surface calculée et se place à l'intérieur de celle-ci.

II. — Quand on fait pénétrer de l'air à l'intérieur de la surface de discontinuité, par exemple au moyen d'un tube, cet air se maintient derrière l'obstacle. La surface ainsi produite se prolonge jusqu'à l'extrémité de l'ajutage communiquant avec l'atmosphère; sur toute son étendue, elle diffère peu de la surface de discontinuité calculée. L'expérience a été faite avec le même ajutage et une vitesse du même ordre que les précédentes, par exemple 1,22 m : s. On observe par la photographie qu'à l'extérieur de cette surface existe le régime hydraulique non turbulent. On supprime par ce procédé les tourbillons et l'on substitue au mouvement de l'eau en mouvement sur l'eau immobile, le frottement de l'eau sur l'air. Ce procédé paraît susceptible d'être appliqué dans l'industrie.

III. — Dans une étude antérieure, l'auteur a montré comment on peut constater expérimentalement, dans les masses d'eau en mouvement, l'existence d'un potentiel des vitesses. On peut aussi réaliser, et c'est le cas le plus général, des masses d'eau renfermant à la fois des portions à mouvement rotationnel et des portions à mouvement irrotationnel. Les projections ξ , η , ζ du tourbillon sont alors des fonctions dis-

continues de x , y , z ; la discontinuité a lieu sur les surfaces de séparation des deux régions.

Pour obtenir expérimentalement une surface de cette nature, M. Camichel a étudié le mouvement de l'eau dans un cylindre vertical muni à sa partie inférieure d'un orifice; une légère dissymétrie donnait à volonté un mouvement dextrorsum ou sinistrorsum. L'auteur a réalisé ainsi le cas classique d'un tube de tourbillon à l'intérieur duquel la vitesse varie proportionnellement à la distance de l'axe; à l'extérieur de ce tube, la vitesse varie en raison inverse de la distance à l'axe. La courbe représentant la vitesse W d'un point en fonction de sa distance à l'axe, se compose donc d'une droite passant par l'origine et d'une branche d'hyperbole équilatère. L'intersection de ces deux courbes correspond à la discontinuité.

L'expérience donne une courbe $W(r)$ présentant un maximum très accusé.

Au lieu d'avoir une véritable discontinuité, on a seulement une région dans laquelle les dérivées premières de la vitesse varient très rapidement. Les surfaces de discontinuité de cette nature sont donc moins nettes que celles des vitesses à une certaine distance de l'axe, 25 mm, dans l'expérience citée, la relation $Wr = \text{constante}$ se vérifie.

En observant des poussières en suspension dans le liquide, on peut mettre très nettement en évidence le tube de tourbillon. Quand on examine la surface du liquide, la zone centrale apparaît le plus souvent comme un cercle complètement nettoyé.

Quand l'écoulement est plus rapide, les trajectoires des particules sont des spirales logarithmiques, comme M. Râteau l'a montré ⁽³⁾. La vérification se fait également d'une façon très satisfaisante.

IV. — L'auteur a étudié également le cas de l'écoulement de l'eau dans une chambre cylindrique de 31,5 cm de diamètre munie suivant son axe d'une tige cylindrique de 9 mm de diamètre. Dans ce cas, le maximum de vitesse est assez rapproché de la surface de la tige et difficile à mettre en évidence.

A partir d'une distance $r = 42$ mm environ, la relation $Wr = \text{constante}$ se vérifie bien.

V. — Les expériences qui viennent d'être signalées et celles qui ont été indiquées antérieurement ⁽⁴⁾ montrent qu'il existe, en général, un potentiel des vitesses dans la plus grande partie d'une masse d'eau en mouvement; d'ailleurs celle-ci peut être, dans une première approximation, assimilée à un fluide parfait; on comprend donc l'importance en hydraulique de l'usage des fonctions de variables complexes.

⁽¹⁾ *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 6 mars 1921, t. CLXXIV, p. 666-669.

⁽²⁾ *R. G. E.*, 7 janvier 1922, t. XI, p. 5-7.

⁽³⁾ *Bulletin de la Société de l'Industrie minière*, Saint-Etienne, 1892.

⁽⁴⁾ *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 12 avril 1920, t. CLXX, p. 881-882.

SECTION INDUSTRIELLE

Les tarifications nouvelles et la compensation de la puissance réactive par l'emploi des condensateurs statiques

Dans cette étude, l'auteur rappelle sommairement les inconvénients d'un mauvais facteur de puissance, tant pour les abonnés que pour les producteurs d'énergie. Il indique les différents moyens d'y remédier et insiste particulièrement sur celui consistant dans l'emploi de condensateurs statiques; il démontre, par des exemples d'installations récentes, les différents avantages que l'on peut retirer de l'amélioration du facteur de puissance par l'emploi de ce genre d'appareils.

Introduction. — L'idée est maintenant généralement admise qu'il y a lieu de remédier aux conséquences du facteur de puissance insuffisant de la plupart des distributions d'énergie électrique sous la forme de courant alternatif.

Le producteur d'énergie est depuis longtemps convaincu de la nécessité de cette correction, ayant été jusqu'à présent le seul à supporter la lourde perte due à l'énergie inutilement dépensée sous forme thermique par l'augmentation injustifiée de l'intensité; les difficultés du réglage de la tension, augmentées par le mauvais facteur de puissance, pèsent, d'autre part, lourdement sur les exploitants.

Au contraire, le consommateur, retranché derrière son contrat d'abonnement, a conservé jusqu'ici devant ce problème une entière indifférence: ne voyant pas la nécessité d'améliorer le facteur de puissance de son installation, il n'en a pas recherché les moyens. Sa préoccupation dominante a été de se procurer, au meilleur prix, les moteurs dont il avait besoin; il les a choisis assez largement pour n'avoir pas d'ennuis, sans se préoccuper beaucoup de leur rendement et en négligeant complètement leur facteur de puissance.

Peu à peu, l'emploi du courant alternatif, dont les avantages ont pu ressortir quand on a commencé à l'utiliser pour l'éclairage, a commencé à coûter très cher aux producteurs d'énergie, quand les moteurs asynchrones se sont répandus sur leurs réseaux. Le Comité d'Electricité a été saisi de la question quand les conséquences de cette situation sont devenues plus graves avec la rareté du charbon, la hausse des prix du matériel et la saturation des câbles et des appareils de production, de contrôle ou de transformation.

Par une dépêche en date du 24 novembre 1919, le ministre des Travaux publics a détaillé les conclusions très judicieuses du Comité, et indiqué sur quelle base il y aurait lieu de compléter désormais, sans les modifier, les clauses inscrites au cahier des charges-type. Ainsi est né officiellement le mode de tarification tenant

compte, d'une part, de l'index économique et, d'autre part, de l'énergie réactive.

L'entente entre les concessionnaires et les pouvoirs concédants, pour l'application des décisions ministérielles, semblait donc facile; mais quand les producteurs, pour lesquels la question était vitale, voulurent, sur ces bases, compléter les cahiers des charges, une opposition très vive se manifesta de la part de beaucoup de communes concédantes, soutenues par leurs administrés. Les abonnés ont vu rapidement la chose se retourner contre eux.

Contraints par la nécessité, les distributeurs et les producteurs d'énergie durent en majorer les prix et profiter des renouvellements de contrats pour imposer des tarifs beaucoup plus élevés; des protestations se sont élevées, dont les échos sont parvenus tout récemment jusqu'à la tribune du Parlement.

On a posé de nouveau le problème déjà résolu en 1919; là, comme dans toutes les branches de l'activité humaine, les prix ne peuvent baisser que par l'économie, et le moyen le plus rationnel d'y contraindre le consommateur est de pénaliser l'énergie gaspillée.

En fait, ni les pouvoirs publics, ni les consommateurs d'énergie, ne semblent comprendre ce point de vue et les nouvelles tarifications leur paraissent un prétexte compliqué à augmentation de tarifs. Les distributeurs eux-mêmes renoncent le plus souvent à employer les moyens de persuasion; ils hésitent, par crainte de mécontenter leurs abonnés, à placer des compteurs sin φ permettant de contrôler l'énergie réactive pour la pénaliser; en outre, ils ont, jusqu'à présent, généralement admis que les petits abonnés, ceux qui sont légion, et qui ont presque toujours le plus mauvais cos φ , n'auront pas à leur portée le moyen simple de compenser le déphasage de leur installation.

Nous voudrions nous efforcer de détruire ces préventions et ces erreurs qui retardent la réalisation d'un progrès nécessaire.

Nécessité de la compensation. — Nous ne reviendrons pas sur les effets bien connus de l'amélioration du facteur de puissance. Rappelons cependant quelques-uns des avantages qui en résultent :

1° *Pour le réseau* : augmentation de la puissance des générateurs et des transformateurs, amélioration du rendement des machines, diminution des pertes en ligne, plus grande puissance disponible sans modification des conditions existantes ; donc diminution du prix de revient de l'énergie, simplification de l'exploitation par suite de la diminution des chutes de tension.

2° *Pour l'abonné* : plus grande régularité de la tension disponible, augmentation de l'utilisation possible de ses transformateurs et de ses lignes intérieures, et, si l'amélioration du facteur de puissance comporte une prime, diminution du prix payé au distributeur.

Si les distributeurs pénalisent l'énergie réactive, ce n'est pas pour obtenir ainsi, par une voie détournée, une recette supplémentaire, mais pour forcer leurs abonnés à améliorer le facteur de puissance de leurs installations au bénéfice de tous ; peut-être serait-il plus facile de faire admettre la chose aux autorités concédantes et aux clients, sous forme de prime donnée aux facteurs de puissance élevés.

Quoi qu'il en soit, cette amélioration si désirable est facilement réalisable quelle que soit la puissance installée et quel que soit son fractionnement. Il est, en effet, toujours possible de créer, en quelque point du réseau, des forces électromotrices donnant lieu à une composante du courant déphasée en avant par rapport à la tension et compensant ainsi, en tout ou en partie, la composante magnétisante du courant, au moyen de réceptrices synchrones surexcitées fonctionnant à vide ou à faible charge, de condensateurs statiques, de compensateurs de phase, ou même de moteurs à collecteur.

L'application industrielle des condensateurs statiques sur la basse tension est encore assez peu connue, bien que deux ans avant leur application en France, une étude théorique parue dans cette revue (voir l'article de M. Scoumanne *R. G. E.*, des 9 et 23 février 1918, t. m) ait fait ressortir les avantages dus à leur extrême simplicité d'installation et de maniement, et à leur rendement très voisin de l'unité, tout en mettant au point la question des dangers de surtension, exagérés à tort.

Premiers résultats obtenus. — La première installation importante a été réalisée en France avec des condensateurs de la Société anonyme des Condensateurs de Trévoux (fig. 1), dans le courant de l'année 1920, aux usines de la Société des Automobiles Delage, à Courbevoie (fig. 2), utilisant du courant triphasé à 25 p. s, sous 185 v (c'est-à-dire dans des conditions économiques désavantageuses) ; la capacité nécessaire à la compensation du courant magnétisant étant inversement proportionnelle à la fréquence et au carré de la différence de potentiel de la ligne, on a :

$$C = \frac{P_s}{\omega f^2}$$

Cette installation comporte environ 500 moteurs actionnant chacun une machine-outil, les puissances individuelles étant comprises entre 0,5 ch et 7 ch. Le facteur de puissance, après une adaptation judicieuse de la puissance de chaque moteur, ne dépassait pas 0,65 ; il est remonté à 0,78 (toutes choses égales d'ailleurs) après l'adjonction de condensateurs d'une capacité totale de 12 300 microfarads⁽¹⁾ répartis sur 55 moteurs triphasés ; les chiffres de 0,65 et 0,78 ont été établis en



Fig. 1. — Vue d'un « condensateur triphasé » de la Société des Condensateurs de Trévoux.

comparant les consommations des compteurs d'énergie active et d'énergie réactive.

Nous extrayons, des chiffres relevés aux compteurs, ceux qui se rapportent à deux mois de l'année où la consommation en lumière est analogue, de façon à en tirer des enseignements comparables entre eux.

En janvier 1920 (aucun condensateur n'étant installé), la consommation était

| | |
|-----------------------------|-------------|
| Energie active..... | 102 410 kw |
| Energie réactive..... | 99 810 kv-A |
| D'où un cos φ moyen de..... | 0,716 |
| Tension..... | 185 v. |

En décembre 1920 (4 000 microfarads en service), la consommation a été

| | |
|-----------------------------|-------------|
| Energie active..... | 73 730 kw |
| Energie réactive..... | 52 870 kv-A |
| D'où un cos φ moyen de..... | 0,81 |
| Tension..... | 185 v. |

Pour nous rendre compte de l'économie réalisée, nous avons relevé la consommation du mois de novembre 1921 qui s'est élevée à 79 950 kw-h.

⁽¹⁾ Ces condensateurs étant constitués d'éléments de « capacité triphasées », éléments construits par la Société des condensateurs de Trévoux suivant un procédé breveté, qui donne, de fabrication, des « condensateurs triphasés » de capacités rigoureusement égales par phase.

Le $\cos \varphi$ moyen étant de 0,77, le prix de l'énergie ressort à 0,37 fr environ le kilowatt-heure, d'où, une dépense de 29 400 fr environ.

Sans l'emploi des condensateurs, le $\cos \varphi$ aurait été inférieur à 0,7 et, dans ces conditions, le prix de l'énergie ressortait à 0,40 fr environ le kilowatt-heure, ce qui aurait conduit à une dépense de 31 760 fr environ.

L'économie réalisée est donc de 2 360 fr par mois, ou de 28 400 fr par an.

Les courbes (fig. 3 et fig. 4), relevées le 6 juillet 1920 avec un ampèremètre enregistreur pendant l'usinage des pièces sur tours Potter, indiquent les intensités consommées pendant le travail et pendant la marche à

vide, avec et sans condensateurs. Accessoirement, le diagramme montre qu'un travail identique a été effectué plus rapidement dans ce cas particulier après la mise en dérivation des condensateurs. La chute de tension ayant diminué par l'adjonction des condensateurs, il en est résulté une augmentation du couple de démarrage, entraînant une augmentation appréciable de la production de machines-outils nécessitant des démarrages ou des changements de régime fréquents.

Les courbes (fig. 5 et 5 bis) donnent les intensités relevées, avec et sans condensateurs, au cours d'essais effectués à la Compagnie des Automobiles de place, par la Compagnie générale de Lumière et Traction à Puteaux,

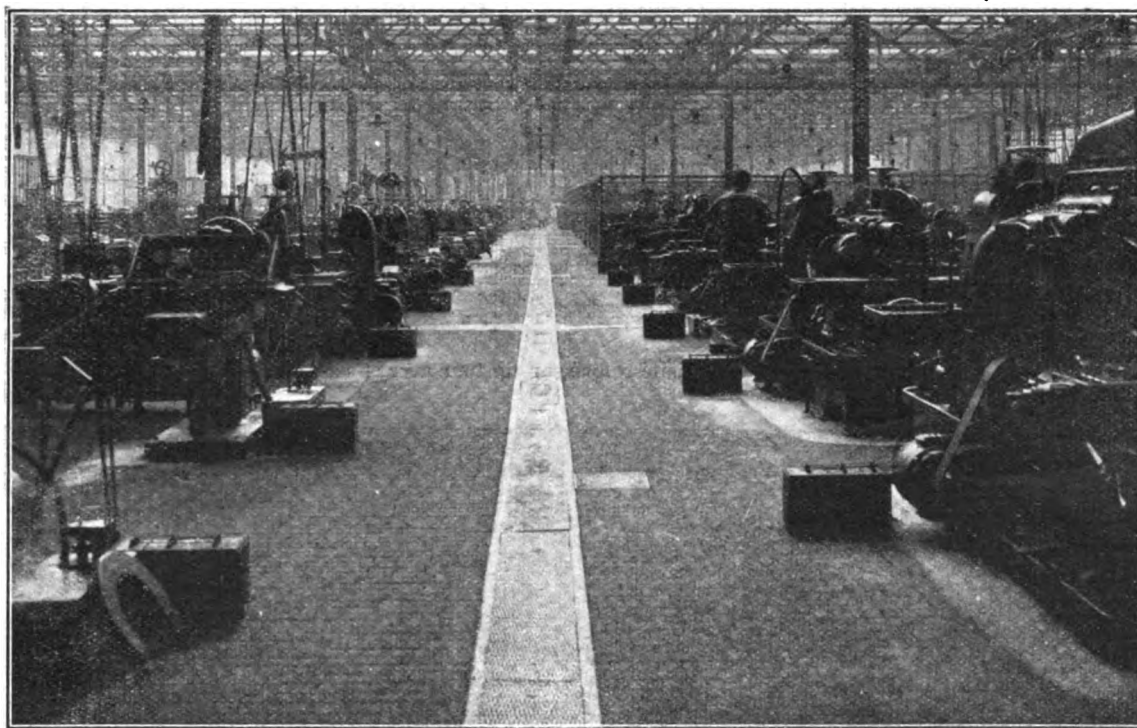


Fig. 2. — Vue des ateliers Delage équipés avec des condensateurs de la Société des Condensateurs de Trévoux.

avec des condensateurs de la même provenance.

La puissance absorbée pendant les mêmes essais a été relevée au wattmètre enregistreur (fig. 6 et 6 bis) ; il n'a pas été possible de figurer les deux diagrammes sur une même feuille, les indications du wattmètre étant sensiblement identiques avec et sans condensateurs. On voit par cette quasi identité, que l'énergie absorbée par les condensateurs est insignifiante ; on sait d'ailleurs que les pertes d'énergie dans les condensateurs sont proportionnelles au carré du champ électrique, dont la valeur est assez faible dans le cas des condensateurs à basse tension.

Le rendement élevé du condensateur est une qualité essentielle de cet appareil, qui doit être étudié et construit de façon à n'avoir qu'un échauffement négligeable, que la matière d'imprégnation soit solide ou

liquide. Si cet appareil est bien construit, il supporte aisément l'emploi d'un diélectrique solide qui le rend maniable comme une pile sèche.

Il est intéressant de noter que cette installation a réalisé, pour la première fois en France, l'utilisation industrielle des capacités aux bornes des moteurs asynchrones en vue de l'amélioration du facteur de puissance. A l'étranger, et particulièrement en Amérique, les efforts des industriels ont porté de préférence sur l'emploi des batteries groupées sur la haute tension, ce qui offre l'avantage de diminuer (pour un même effet à obtenir) la valeur des capacités en jeu, mais nécessite des mesures de sécurité spéciales qui limitent leur emploi à des installations d'une certaine importance.

Pour les installations de faible et moyenne puis-

sance, l'emploi des capacités réparties aux bornes des moteurs est la solution qui semble s'imposer en raison de sa facilité d'installation et de sa sécurité de fonctionnement; il y a lieu de signaler, d'ailleurs, que par l'emploi, soit d'auto-transformateurs, soit de bobines de

self-induction, on peut, en augmentant la tension aux bornes des condensateurs, diminuer les capacités à prévoir.

Considérations théoriques. — La répartition des

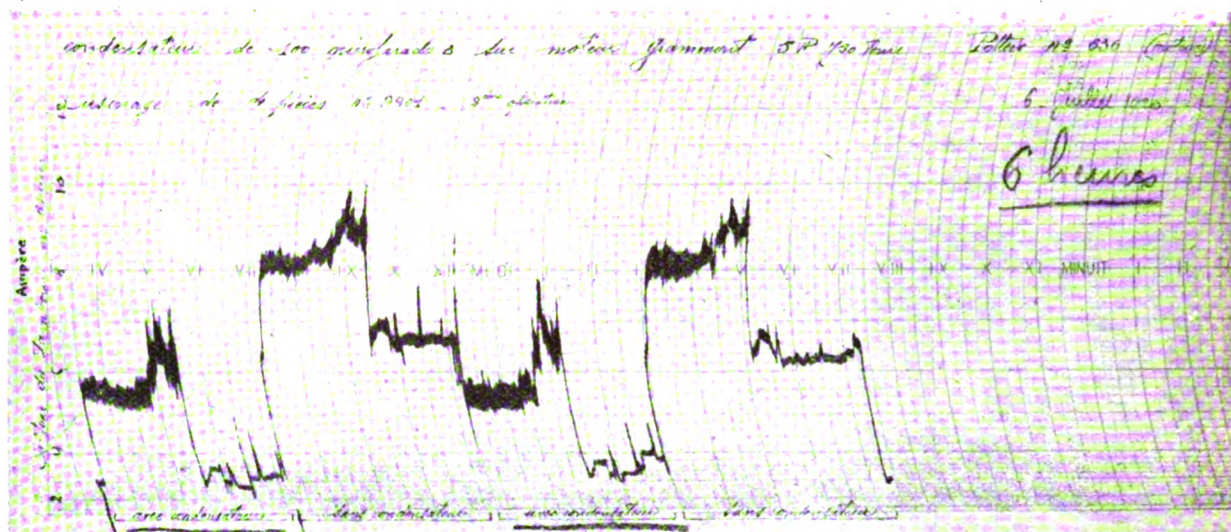


Fig. 3. — Diagramme d'intensité relevé sur un tour avec et sans condensateurs.

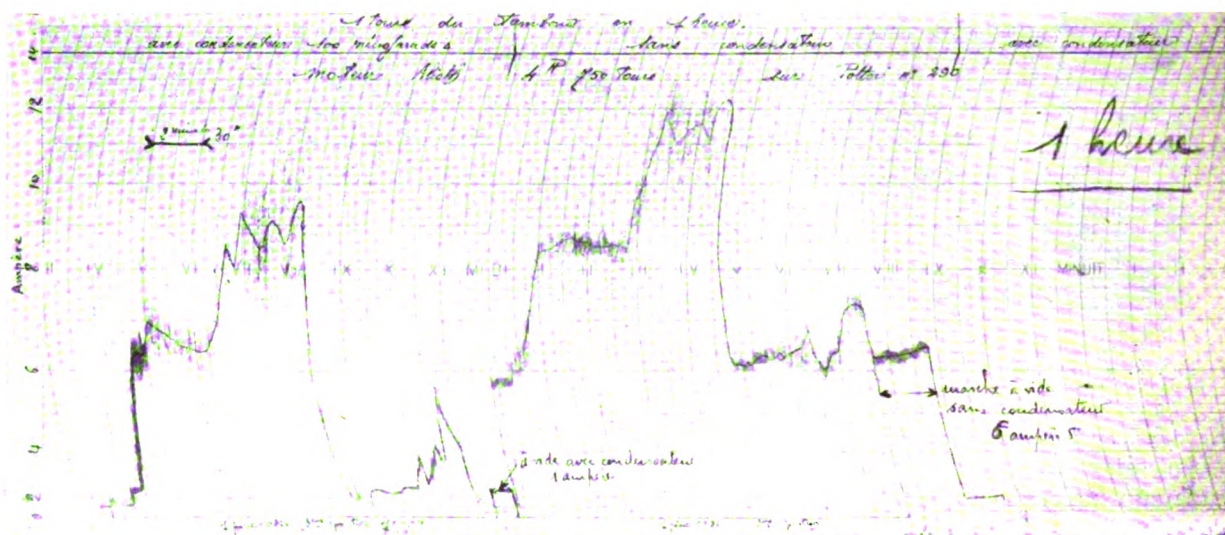


Fig. 4. — Diagramme d'intensité relevé sur un tour avec et sans condensateurs et comparaison de la marche à vide dans les deux cas.

capacités en divers points d'une installation n'est pas indifférente; le but à atteindre est de corriger, sur l'ensemble de l'installation, une certaine énergie réactive, mais le déphasage du courant varie avec la charge de chaque moteur, et il y a intérêt à proportionner rigoureusement, à chaque instant, l'action des capacités compensatrices à celle de la perturbation due aux courants magnétisants, au point même où celle-ci se produit.

Sur les transformateurs, le courant magnétisant est sensiblement constant; on placera donc aux bornes de ces appareils des condensateurs destinés à rester en service jour et nuit et calculés de façon à compenser la presque totalité de l'énergie réactive que les moteurs demanderaient sans cela au réseau d'alimentation. Le complément de capacité, nécessaire pour remonter à la valeur désirée le facteur de puissance de l'installation,

sera réparti sur ceux des moteurs travaillant dans les conditions les plus désavantageuses au point de vue de la charge (moteurs sur transmissions ou sur machines-outils). A chacun de ces moteurs sera adjointe une batterie de condensateurs ayant la capacité optimum

correspondante, c'est-à-dire celle qui amènera le facteur de puissance du groupe moteur-condensateur au voisinage de l'unité pour la marche à vide du moteur; pour un moteur de 9 ch, par exemple, cette capacité serait de 80 microfarads environ (fig. 7). Pour cette

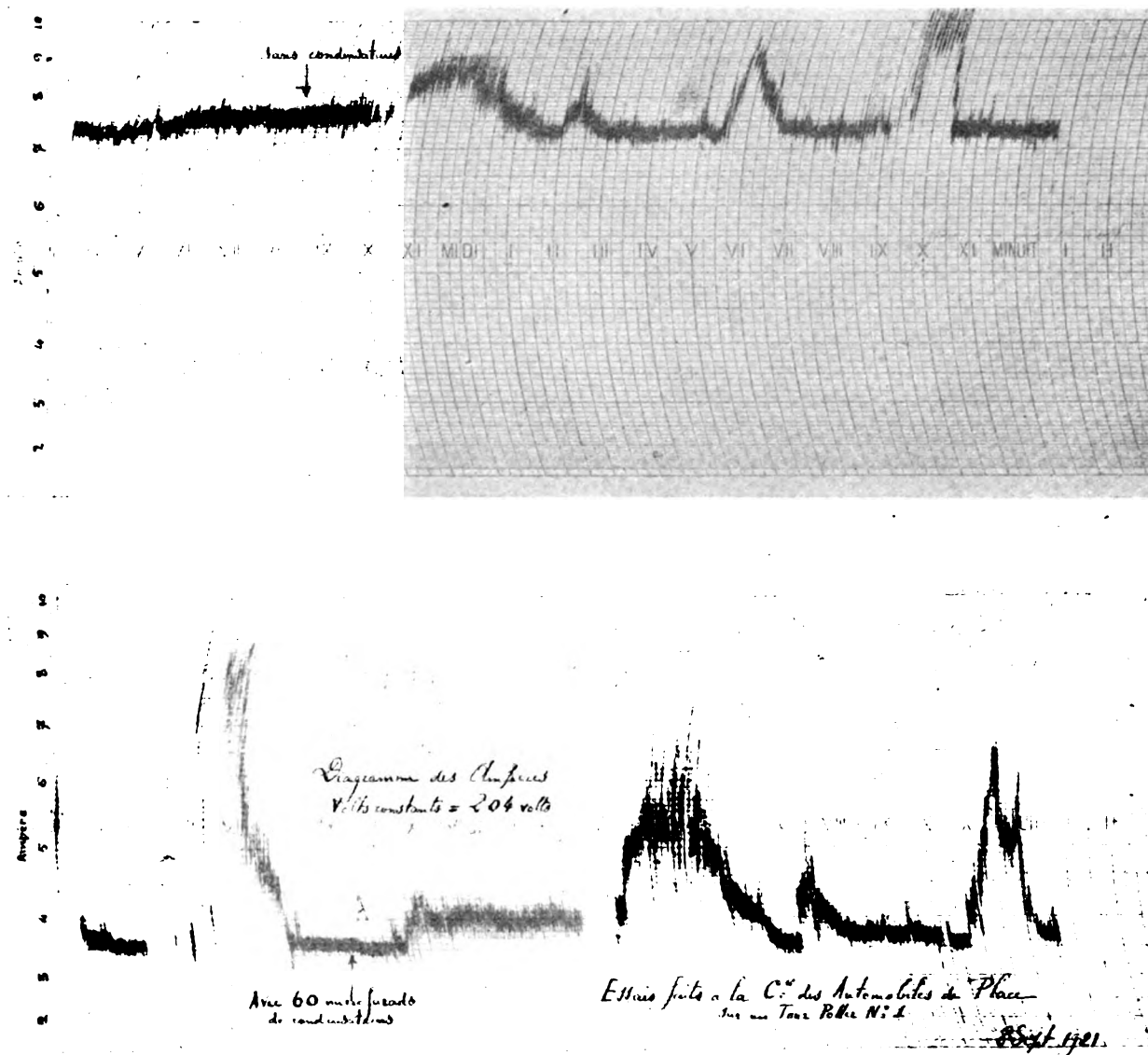


Fig. 5 et 5 bis. — Diagrammes d'intensité relevés sur un tour sans et avec condensateurs.

valeur optimum, quelle que soit la charge à laquelle le moteur travaillera, le facteur de puissance sera toujours voisin de l'unité.

Des règles déterminées doivent être suivies pour le branchement des capacités sur le réseau, afin de s'écarter systématiquement des causes pouvant provoquer des surtensions.

Les causes de surtension sont, en général, soit les phénomènes de résonance, soit les oscillations libres qui

se produisent dans le réseau à chaque variation de charge.

Dans un circuit en résonance (la force électromotrice étant supposée sinusoïdale simple), l'action de la capacité et de la self-induction s'équilibrant, la condition de résonance est donnée par la formule

$$L\omega = \frac{1}{C\omega},$$

dans laquelle, pour un réseau complexe, C est la capa-

capacité totale des câbles et des condensateurs destinés à améliorer le facteur de puissance; L est la self-induction résultante des moteurs, des transformateurs et des diverses génératrices couplées en parallèle sur les barres; ω est la pulsation. Cette condition n'est généralement pas remplie et toute augmentation de la

capacité C rapproche de la limite dangereuse. Le cas de condensateurs placés directement sur un circuit avec tous les moteurs hors circuit est donc le cas le plus défavorable au point de vue de la résonance. Il est, par suite, nécessaire de placer chaque capacité aux bornes mêmes du moteur, c'est-à-dire de la mettre en

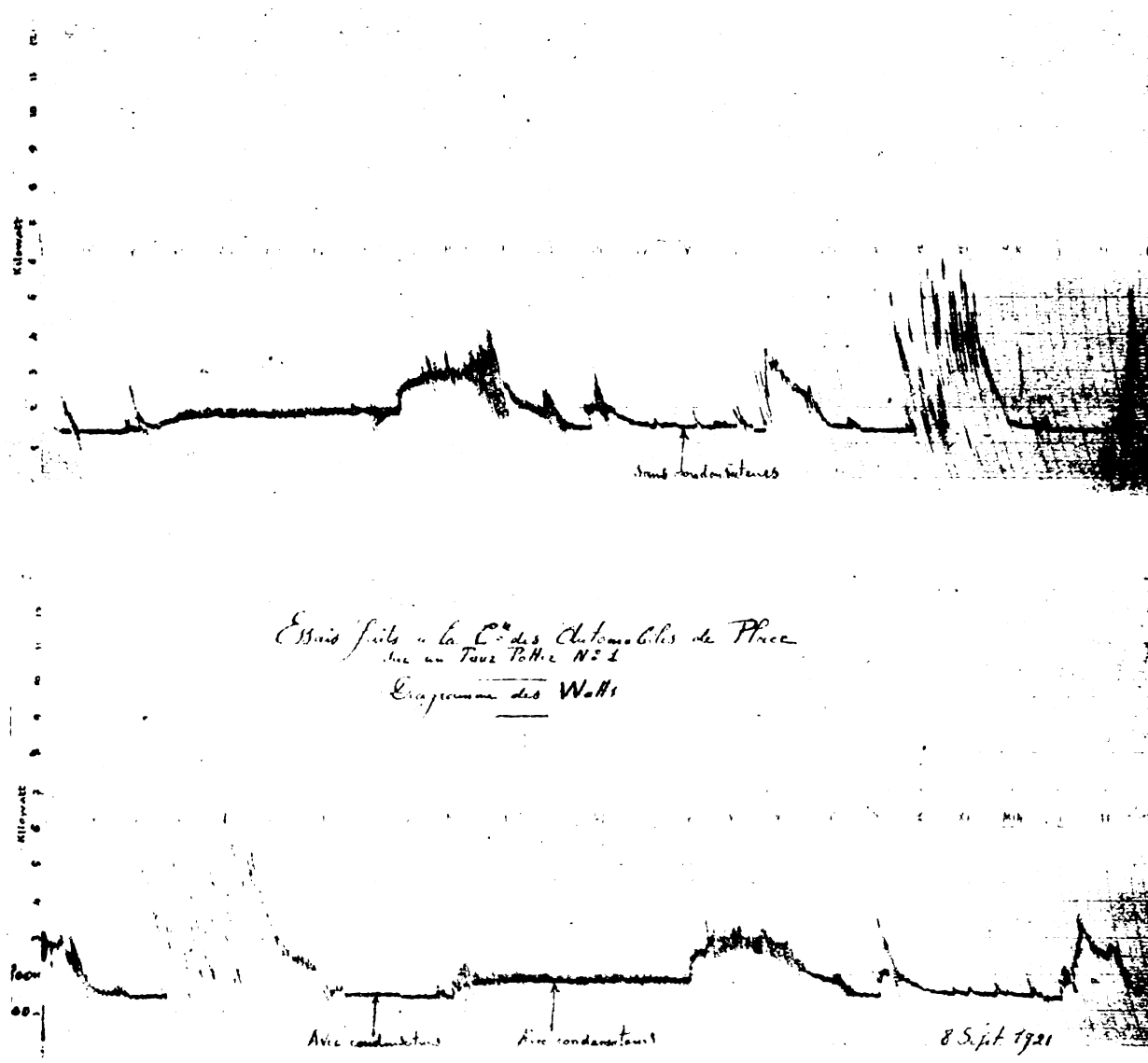


Fig. 6 et 6 bis. — Diagramme des consommations en watts relevées sur un tour sans et avec condensateur.

circuit ou hors circuit en même temps que la self-induction qu'elle compense.

Les oscillations qui se produisent dans les réseaux aux variations brusques de charges sont dues aux charges et, surtout, aux décharges des capacités dans les self-inductions. Elles se produisent aussi bien sans condensateurs qu'avec condensateurs, les capacités des câbles et des enroulements des transformateurs et des

moteurs étant suffisantes pour donner naissance à un phénomène oscillatoire. Ce phénomène est d'ailleurs de courte durée et n'existe qu'au moment du déclenchement de l'interrupteur.

Dans un circuit comprenant une self-induction L , une capacité C et une résistance R , on sait que l'équation générale qui donne à tout instant les valeurs de la différence de potentiel v , est

pendant la décharge

et pendant la charge

$$\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dv}{dt} + \frac{v}{CL} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dv}{dt} + \frac{v}{CL} = \frac{E}{CL}, \quad (2)$$

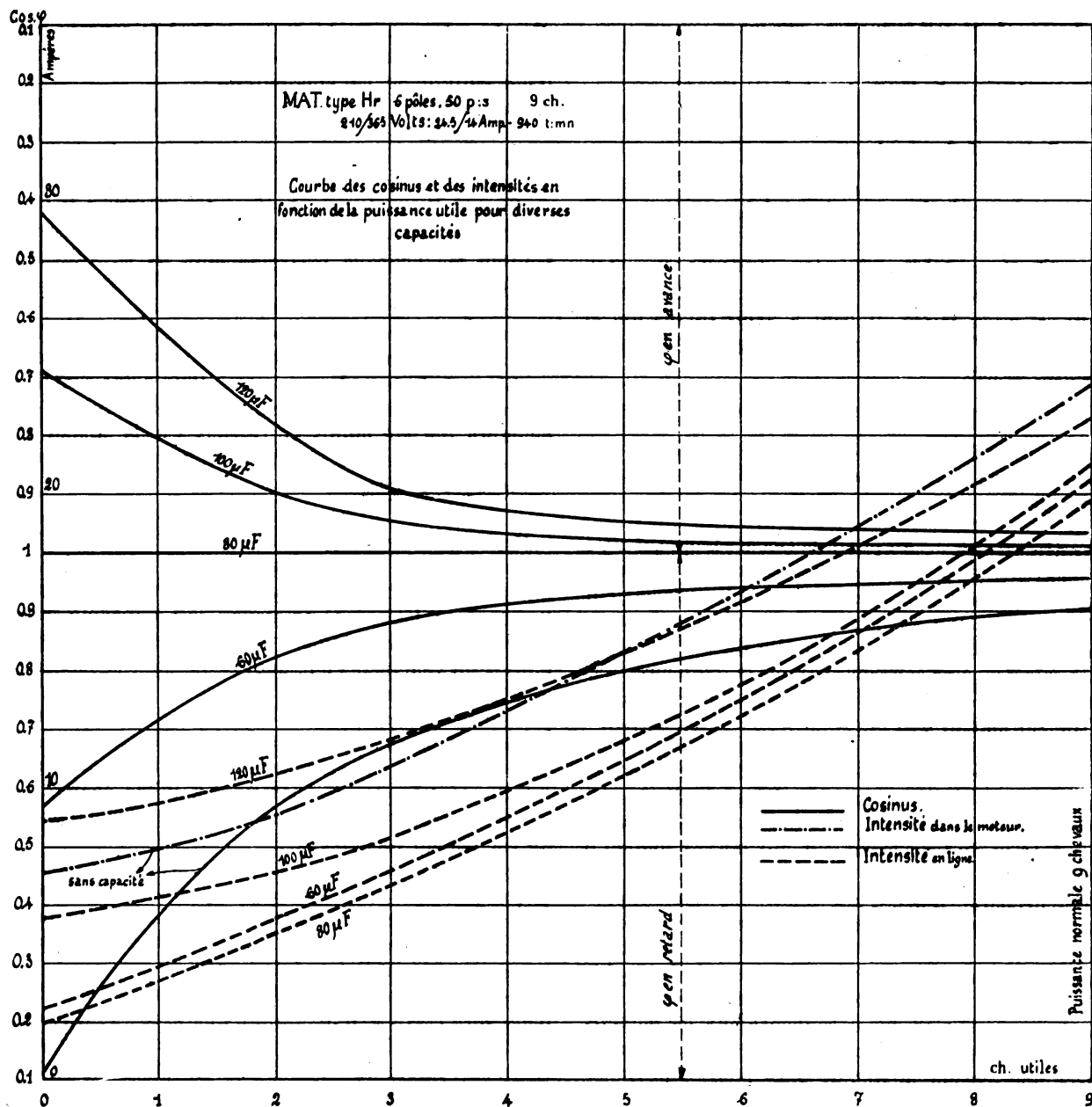


Fig. 7. — Courbe du facteur de puissance et des intensités en fonction de la puissance utile pour diverses capacités.

où E est la force électromotrice constante de charge.
On pose

$$\frac{R}{2L} = \alpha \quad \text{et} \quad \frac{1}{CL} = \beta^2;$$

réelles ou imaginaires, c'est-à-dire suivant que

$$\alpha^2 - \beta^2 \geq 0,$$

ou

$$\alpha^2 - \beta^2 < 0,$$

suivant que les équations (1) et (2) ont leurs racines

les charges et décharges sont apériodiques ou oscillantes.

La différence de potentiel aux bornes du condensateur pendant la charge est de la forme

$$E \left[1 - e^{-\alpha t} \frac{\cos(\omega t - \varphi)}{\cos \varphi} \right] + L \omega i_0 \frac{\sin \omega t}{\cos^2 \varphi} e^{-\alpha t};$$

aux bornes de la self-induction, elle est

$$L \frac{di}{dt} = L \omega i_0 \frac{\cos(\omega t + \mu + \varphi)}{\sin \mu \cos \varphi} e^{-\alpha t},$$

et aux bornes de la résistance,

$$2 L \alpha i_0 e^{-\alpha t} \frac{\sin(\omega t + \mu)}{\sin \mu};$$

on peut facilement déterminer les grandeurs : ω , φ et μ .

On voit le rôle que joue la résistance R du circuit; si elle est assez faible, il peut y avoir oscillation et celle-ci sera d'autant moins amortie que la résistance sera plus faible.

Le facteur $\alpha = \frac{R}{2L}$ mesure l'amortissement, et les différences de potentiel aux bornes du condensateur et aux bornes de la self-induction décroissent quand α augmente.

Applications. — Au point de vue électrique, il n'y a donc pas lieu de considérer le condensateur seul, mais l'ensemble formé par le moteur ou le transformateur et le condensateur. En marche normale, aucune surtension n'est à craindre, la capacité du condensateur étant calculée pour compenser (pour la fréquence et la tension normales) la self-induction, soit du moteur, soit du transformateur aux bornes desquels il est branché. Ce n'est qu'à la mise en circuit et surtout à la mise hors circuit des appareils qu'une surtension peut se produire. A ce moment, en effet, l'énergie électrostatique du condensateur doit se décharger dans le circuit du moteur ou du transformateur aux bornes duquel il est branché.

Cette décharge a lieu à une tension diminuant progressivement et s'annulant à la fin de la décharge, la valeur initiale de la tension de décharge étant au maximum, dans le cas le plus défavorable, le double de la tension sous laquelle le condensateur a été chargé; or, aussi bien que le condensateur, les moteurs et transformateurs sont capables de supporter sans danger une tension double de celle pour laquelle ils sont utilisés.

Ci-dessous, nous donnons d'ailleurs un extrait d'une lettre de la maison Delage qui emploie depuis plusieurs années des condensateurs d'une capacité de 12 000 microfarads répartis sur une cinquantaine de moteurs.

« Les condensateurs étant accouplés par petits groupes à chaque moteur sont mis hors circuit en même temps que le moteur dont ils dépendent, et de ce fait, nous n'avons jamais enregistré aucune perturbation sur notre réseau ».

Les résultats théoriques sont d'ailleurs confirmés

par l'expérience; pour les vérifier, nous avons, en effet, procédé à des essais en utilisant les propriétés des gaz raréfiés qui s'illuminent (pour une forme d'électrode donnée) à une tension pratiquement constante. Le tube à gaz raréfié qui a servi à nos essais était étalonné à 350 v; il a été branché aux bornes basse tension 220 v d'un transformateur de 46 kv-A, dont le courant magnétisant était compensé par le courant de capacité d'une batterie de 540 microfarads.

En aucun cas, tant à la mise en circuit qu'à la mise hors circuit de l'ensemble transformateur-condensateur, le tube ne s'est illuminé; on peut donc en conclure que l'adjonction d'une capacité, soit aux bornes des moteurs, soit aux bornes des transformateurs à la condition d'être calculée judicieusement pour compenser le courant magnétisant correspondant, ne peut donner lieu à aucun phénomène de surtension dangereuse.

Dès 1920, la Société d'Energie électrique de Chauffage, la Clayette et Extensions a équipé elle-même les moteurs de son réseau avec des condensateurs pour améliorer le facteur de puissance. Plus d'une centaine de petits moteurs de passementiers travaillant en chambre ont été munis de capacités et le facteur de puissance général de l'installation a ainsi été relevé d'une façon très importante.

Etude des avantages résultant d'une installation récente. — Préconisant l'emploi de condensateurs statiques ou de moteurs synchrones pour l'amélioration du facteur de puissance, la Compagnie française Thomson-Houston n'a pas voulu rester en arrière dans cette voie pour l'une quelconque de ses usines et a décidé de procéder à l'amélioration du facteur de puissance en tout premier lieu dans son usine de la rue du Hameau, usine comportant de nombreuses machines-outils commandées par moteurs individuels fonctionnant le plus fréquemment à faible charge et, par suite, dans des conditions désavantageuses au point de vue facteur de puissance.

Cette usine est alimentée par le réseau diphasé, 42 p; s, 12 000 v de la Compagnie parisienne de Distribution d'Électricité et comporte deux transformateurs monophasés chacun de 46 kv-A, 12 000/220 v. La puissance moyenne utilisée est de 50 kw.

Des premières mesures faites par le relevé des compteurs $\sin \varphi$ et $\cos \varphi$, il est résulté que le $\cos \varphi$ moyen de l'installation était inférieur à 0,5, et il a été décidé de relever sa valeur aux environs de 0,85 par l'adjonction de condensateurs statiques (installés tant aux bornes des moteurs, qu'aux bornes des transformateurs alimentant l'usine) afin de compenser en partie la puissance magnétisante de ces appareils.

La Compagnie Thomson-Houston désirait obtenir par cette adjonction les avantages que les nouveaux tarifs établis par la Compagnie parisienne de Distribution d'Électricité offrent aux abonnés dont les installations ont un facteur de puissance supérieur à 0,8.

D'après ces tarifs, dans le cas qui nous occupe, avec un $\cos \varphi$ de 0,5, le prix du kilowatt-heure ressort à

0,37 fr, tandis qu'avec un $\cos \varphi$ compris entre 0,8 et 0,85, ce prix s'abaisse à 0,28 fr; il en résulte une économie de 0,09 fr par kilowatt-heure, ce qui représente, pour une consommation annuelle de 160 000 kw-h, une économie de 14 400 fr.

AMÉLIORATION PROGRESSIVE DU FACTEUR DE PUISSANCE. — Pour se rendre compte d'une façon exacte de l'amélio-

ration provenant de l'adjonction des condensateurs statiques, il a été procédé à la mise en place de ces appareils d'une façon progressive; des courbes de la figure 8), il ressort que le $\cos \varphi$ est passé successivement :

De 0,5 à 0,6 par l'adjonction d'une capacité de 800 μF aux bornes des transformateurs;

De 0,6 à 0,7 par une première adjonction d'une capacité totale de 1 200 μF répartis aux bornes des moteurs;

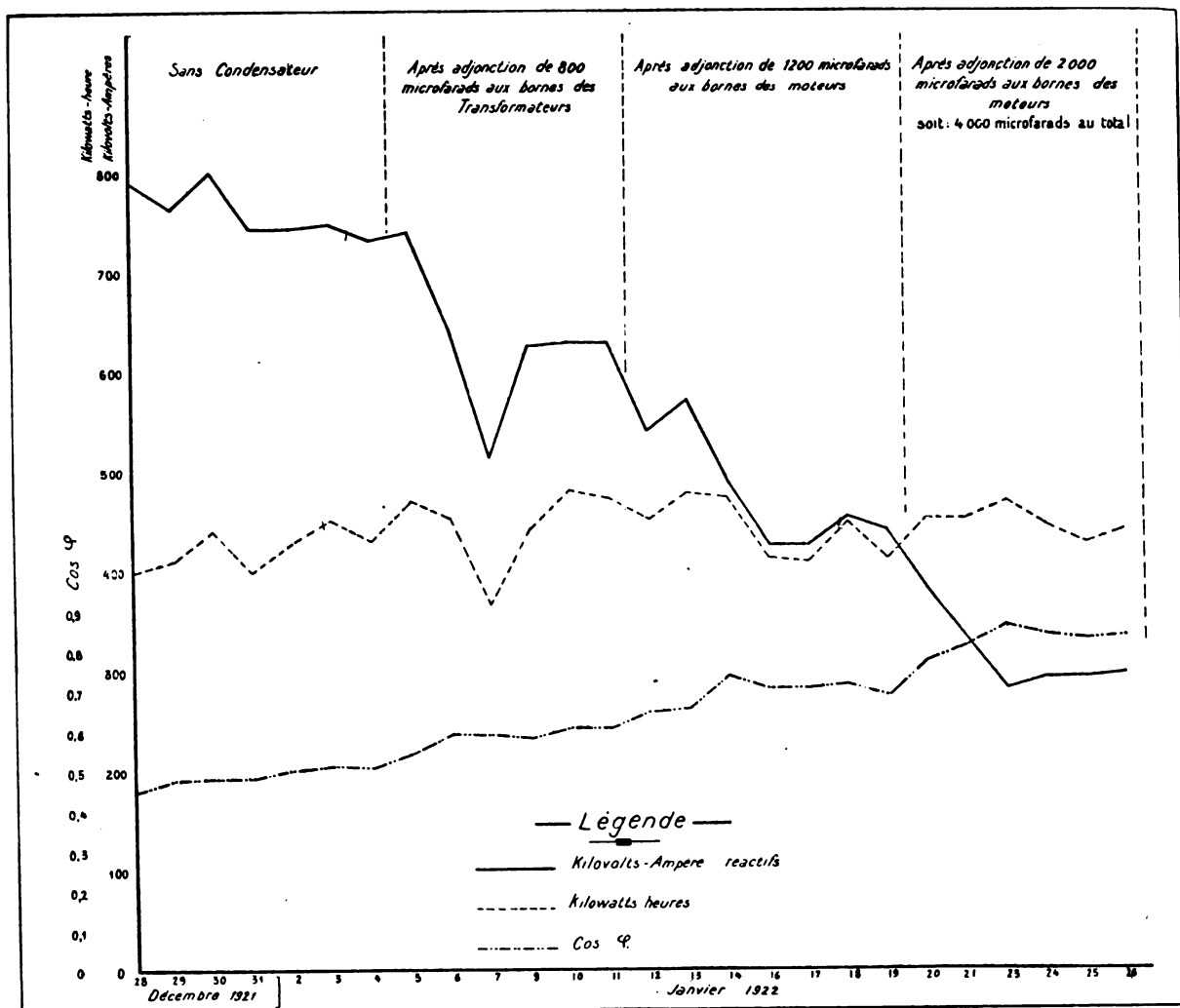


Fig. 8. — Graphique représentant l'amélioration du facteur de puissance réalisé à l'usine du Hameau avec des condensateurs statiques.

De 0,7 à 0,85 par une seconde adjonction d'une capacité totale de 2 000 μF répartis aux bornes des moteurs;

Ce qui porte à 4000 μF la capacité des condensateurs répartis dans l'installation.

DIMINUTION DU COURANT À VIDE DES TRANSFORMATEURS. — Des essais très intéressants ont été effectués, d'accord avec le service technique de la Compagnie parisienne de Distribution d'Électricité montrant dans quelle proportion le courant à vide des transformateurs était abaissé.

Pour l'un des transformateurs (transformateur monophasé 42 p : s, 45 kv-A, 12 400/220 v) le courant à vide est descendu de 1,01 A à 0,425 A par l'adjonction d'une batterie de condensateurs de 540 μF .

Pour le deuxième transformateur (transformateur monophasé 42 p : s, 45 kv-A, 12 400/220 v), le courant à vide est descendu de 0,7 A à 0,315 A à la suite de l'adjonction d'une batterie de condensateurs de 400 μF .

Ce sont là des résultats très intéressants, surtout si l'on considère des transformateurs restant en circuit

constamment, ce qui est le cas des nombreux transformateurs placés dans les sous-stations, ainsi que des transformateurs des réseaux d'éclairage.

AUGMENTATION DE LA PUISSANCE DE LA SOUS-STATION. — Il y a lieu de signaler, en outre, l'augmentation de la puissance de l'installation provenant du fait de l'adjonction des condensateurs.

Pour la puissance moyenne utilisée de 50 kw, avec $\cos \varphi$ de 0,5 (aucun condensateur installé), les transformateurs débitaient 100 kv-A, tandis qu'après l'adjonction des condensateurs le $\cos \varphi$ étant relevé à 0,85, ces mêmes transformateurs ne débitent plus que 59 kv-A ; d'où une augmentation de 35 pour 100 de la puissance disponible.

Des considérations ci-dessus, il résulte que, dans l'étude financière d'un projet de condensateurs statiques, le point important n'est pas la comparaison du prix de chaque batterie à celui du moteur auquel elle est appliquée pour obtenir la compensation individuelle, mais l'économie réalisée sur la fourniture de l'énergie rapportée à la dépense nécessitée par l'installation des condensateurs ; cette économie dépend essentiellement des avantages que le fournisseur d'énergie accorde à ses clients pour l'amélioration de leur facteur de puissance (ou, réciproquement, de la pénalisation dont il frappe l'énergie réactive) ; elle est évidemment fonction du prix des condensateurs.

Pour autant que l'importance des installations réalisées permette de formuler une opinion, les dépenses d'entretien et d'amortissement des condensateurs à basse tension peuvent être considérées comme très faibles.

Accessoirement la réduction du courant à travers les transformateurs et l'installation peut permettre une réduction sur l'acquisition de ces appareils et entraîne une diminution corrélative de pertes thermiques.

Dans le cas de l'usine du Hameau examiné ci-dessus, le problème se posait de la façon suivante :

Cette usine est alimentée par courant diphasé 12 000 v et comporte un poste de transformation comprenant deux transformateurs monophasés de 46 kv-A (soit une puissance totale de 92 kv-A) ; le $\cos \varphi$ moyen étant de 0,5 et la puissance moyenne utilisée de 50 kw, les transformateurs fonctionnaient fréquemment en sur-

charge et, comme de nouveaux moteurs devaient être installés, il eut été nécessaire avant leur mise en service de modifier l'installation.

Deux solutions pouvaient être envisagées :

La première comportant la mise en service de nouveaux transformateurs ;

La deuxième consistant à améliorer les conditions de fonctionnement de l'installation par l'adjonction de condensateurs statiques.

ECONOMIE RÉALISÉE. — Dans la première solution la dépense à engager (achat et installation de deux transformateurs monophasés de 40 kv-A, avec l'appareillage correspondant) s'élevait à 12 000 fr.

Dans ces conditions le $\cos \varphi$ de l'installation restant 0,5, le prix du courant ressortait à 0,37 fr ; d'où, pour une consommation de 160 000 kw-h par an, une dépense de 59 200 fr.

Dans la deuxième solution, qui a d'ailleurs été adoptée, l'achat et l'installation des condensateurs statiques ont coûté 26 000 fr.

Mais cette solution a permis d'améliorer le facteur de puissance jusqu'à 0,85 environ ; et, dans ces conditions, le prix du courant a été abaissé à 0,28 fr, d'où, pour une consommation annuelle de 160 000 kw-h, une dépense de 44 800 fr.

Il résulte des chiffres ci-dessus que la deuxième solution permet de réaliser une économie annuelle de 14 400 fr, pour une dépense supplémentaire de premier établissement s'élevant à 14 000 fr, dépense qui se trouve donc amortie en moins d'une année.

Conclusion. — La conclusion de cette étude montre que l'amélioration du facteur de puissance est un problème qui intéresse aussi bien les abonnés que les secteurs ; il est à souhaiter que les industriels l'étudient avec toute l'attention qu'il mérite, et contribuent à l'amélioration des conditions d'exploitation des réseaux, d'où résultera certainement une diminution du prix de l'énergie facilitant le développement des applications de l'électricité.

M. MISSEREY,

Ingénieur des Arts et Manufactures,
Ingénieur de la Compagnie française
Thomson-Houston.

Revue, analyses et informations

Étude des calibres industriels au moyen des interférences lumineuses.

La précision des ajustages industriels étant aujourd'hui assez fréquemment de l'ordre du centième de millimètre, les instruments de vérification doivent être établis avec une précision du micron et les jauges ou calibres servant à leur tour à vérifier les dimensions de ceux-ci demandent une précision d'une fraction de micron ⁽¹⁾.

Dans deux articles antérieurement publiés dans ces colonnes, notre collaborateur M. Ch.-Ed. Guillaume ⁽¹⁾, directeur du Bureau international des Poids et Mesures, de Sèvres, a exposé des méthodes et décrit les appareils employés pour arriver à une aussi grande précision. Tout récemment, M. A. PÉCARD, premier adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, a fait connaître, dans une communication faite à la séance du 10 février de la Société

⁽¹⁾ Ch.-Ed. GUILLAUME : Les calibres industriels. *R. G. E.*, 3 août 1918, t. IV, p. 171-173. — La détermination des étalons à bouts. *R. G. E.*, 10 août 1918, t. IV, p. 171-179.

⁽¹⁾ Voir *R. G. E.*, 3 août 1918, t. IV, p. 125.

française de Physique, les résultats des travaux qui ont été poursuivis par le Bureau international sur diverses jauges industrielles et particulièrement sur les calibres à faces planes du type Johansson. Nous donnons ci-dessous le résumé de cette communication.

Le contrôle des pièces interchangeables dans la fabrication en série exige une précision de plus en plus élevée. Si la « tolérance » des dimensions à réaliser est limitée, comme bien souvent aujourd'hui, à quelques centièmes de millimètre, les vérificateurs (max. et min.) de cette tolérance doivent être ajustés à quelques microns près; et les jauges ou calibres-étalons, d'après lesquels sont établis ces vérificateurs, ont à fournir une précision qui atteint déjà le micron. En outre, la propriété caractéristique de certains calibres (type Johansson) qui leur permet de s'abouter les uns aux autres par adhérence au contact de leurs surfaces terminales, de façon à constituer un calibre composite, équivalant à la somme des calibres élémentaires, exige pour chacun de ces derniers une exactitude d'ajustage proportionnelle à sa longueur. Si donc la précision du micron est demandée au calibre de 10 mm, l'ajustage des calibres de valeur inférieure à 1 cm devra être approché à quelques centièmes de micron.

Les jauges industrielles se classent en trois catégories suivant la forme sphérique, cylindrique ou plane, de leurs surfaces terminales. Les méthodes de détermination des deux premières catégories ont été exposées dans une communication antérieure. Pour les calibres à faces planes du type Johansson, une première méthode d'étude a utilisé cette propriété essentielle de superposition des calibres les uns aux autres. Deux calibres-étalons auxiliaires, munis d'une échelle divisée, tracée dans l'axe longitudinal, étaient tantôt adaptés aux deux bouts du calibre à étudier, tantôt mis directement en contact entre eux, et l'on mesurait chaque fois la distance de deux traits choisis sur leurs échelles respectives. La précision du résultat, obtenu ainsi par différence, était celle des pointés aux microscopes micrométriques, soit de 2 à 3 dixièmes de micron, précision largement suffisante pour tous les calibres supérieurs à 2 cm.

Pour les petites pièces, la précision nécessaire dut être demandée aux phénomènes d'interférence lumineuse. Une première application de ces phénomènes a été exécutée à l'interféromètre de MM. Fabry et Pérot. Le calibre à étudier était intercalé entre les deux glaces, préalablement désargentées, de l'appareil, et réglé au moyen d'un support spécial, qui le tenait à hauteur de la région centrale de ces glaces. En projetant un faisceau de lumière monochromatique alternativement sur les deux faces de l'appareil et du calibre, on obtenait, de chaque côté, pour un réglage convenable, un double phénomène de franges de Fizeau : dans la région centrale, franges produites entre la face du calibre et la glace contiguë; dans les régions marginales, franges produites directement entre les glaces. Les épaisseurs des trois lames d'air, déterminées par le numéro d'ordre des interférences, établissaient, par différence, la valeur *optique* du calibre étudié. Par ailleurs, la configuration seule des franges révélait, à première vue et avec la plus haute précision, les défauts de construction (planitude et parallélisme) des surfaces. Cette méthode permettait de mesurer jusqu'à 10 mm d'épaisseur de calibre; elle donnait une précision de 2 à 3 centièmes de micron; mais elle exigeait des réglages assez délicats et instables.

Pour le calcul exact des valeurs *réelles*, une correction ne devait pas être négligée; c'était celle qui résultait de la perte de phase par réflexion normale sur l'acier, dont l'effet était

de faire ressortir, pour l'épaisseur des lames d'air correspondantes, des valeurs légèrement trop fortes, comme si la réflexion se produisait sur une surface *optique* quelque peu plus enfoncée dans le métal que la surface *mécanique* ou réelle. Cette correction a été étudiée au moyen d'expériences indépendantes, par la mesure d'anneaux de Newton produits entre la surface sphérique de petites lentilles plan-convexes, et une surface plane de verre ou d'acier. Ces expériences ont permis de vérifier que, pour la réflexion sur le verre, le changement de phase est, à la limite d'exactitude des expériences, égal à $1/4$, et de faire ressortir, pour l'acier poli, une perte de phase supplémentaire légèrement variable avec la longueur d'onde et correspondant, pour le milieu du spectre visible, à une discordance d'environ $0,07 \mu$ entre la surface optique et la surface mécanique. En outre, ces mêmes expériences, qui mesuraient avec une grande précision les déformations des surfaces en contact, constituaient par surcroît une étude expérimentale de la formule de Hertz. Par la mesure de diverses sommes de calibres déterminés chacun individuellement, cette méthode a permis de constater que, dans la superposition de deux calibres Johansson, l'épaisseur de la couche de lubrifiant qui reste interposée entre les surfaces adhérentes est d'un ordre de grandeur inférieur à toute quantité mesurable (plus petite que $0,02 \mu$ à $0,03 \mu$), et que la nature du lubrifiant (vaseline, huile de vaseline, pétrole, essence) est sans influence appréciable au point de vue métrologique.

Une seconde méthode interférentielle, actuellement encore employée, met à profit cette dernière constatation. Le calibre à vérifier est accolé contre un plan d'acier de plus grande étendue, qui le déborde de part et d'autre. Un plan de verre, muni de points de repère, produit encore, en lumière monochromatique, un double système de franges d'interférence, d'une part sur la face extérieure du calibre, d'autre part sur la région libre du plan d'acier. Les épaisseurs des lames d'air ainsi mesurées donnent, par différence, la valeur du calibre avec une précision qui n'est pas inférieure à celle de la précédente méthode. On a pu mesurer directement en valeur absolue des calibres atteignant 25 mm. Comme ci-dessus, l'exactitude de la construction (parallélisme et planitude) se révèle aussitôt par la configuration relative des deux systèmes de franges.

L'appareil qui est utilisé dans ces expériences est un interféromètre réduit à sa plus grande simplicité : à l'intérieur d'un corps cylindrique vertical, porté par trois vis calantes, s'ajuste, à hauteur convenable, une tablette sur laquelle repose le plan d'acier surmonté du calibre à étudier; au-dessus de cet ensemble est disposé un plan de verre horizontal réglable par vis micrométriques autour de deux axes rectangulaires. On a pu éviter dans cet appareil l'emploi de toute échelle graduée; la détermination des entiers des divers ordres d'interférence se fait sans difficulté, grâce au choix approprié des radiations utilisées et à un large emploi de la méthode des *coïncidences*.

Le même appareil se prête à la comparaison des jauges de grandes dimensions, par groupes de trois; il suffit de les coller côte à côte sur le même plan d'acier; l'examen des trois systèmes de franges produits entre le plan de verre et les faces supérieures de ces calibres, donne (avec la même précision de 2 à 3 centièmes de micron) la différence du calibre central par rapport à la moyenne des deux autres. Les pièces à comparer peuvent sans inconvénient différer entre elles de plusieurs millimètres. On a, de cette façon, la possibilité d'exécuter de véritables étalonnages par sommation de calibres et comparaison de longueurs voisines. Plusieurs calibres de 100 mm se sont trouvés ainsi mesurés indirectement par les seuls moyens des interférences lumi-

neuses. La concordance des valeurs obtenues, avec celles fournies, d'autre part, par la méthode des étalons auxiliaires tracés, a constitué une vérification intéressante, toutes proportions gardées, de la mesure du rapport des longueurs d'onde fondamentales à l'unité métrique.

L'étude qui se poursuit en ce moment, d'un petit trépied-support intermédiaire, permettra d'appliquer cette méthode si commode à tous les étalons à faces planes, sans qu'il soit nécessaire de les coller contre une surface plane, opération dangereuse pour certaines substances. Enfin, un dispositif très simple, actuellement en construction, permettra d'étendre encore ce procédé de détermination aux jauges industrielles à surfaces sphériques.

Compte rendu du Congrès du $\cos \varphi$ de l'Union des Usines d'Electricité allemandes (1).

Le rapport, dans une sorte de préambule, appelle l'attention des exploitants sur l'inconvénient principal qui dérive de l'existence d'un facteur de puissance peu élevé et qui consiste dans une diminution importante de la puissance active susceptible d'être développée par les machines et transmise par le réseau. En raison de ce fait, un tiers environ de la puissance totale installée dans les usines génératrices du pays ne peut être utilisée.

Le coût des installations, les pertes en ligne et le prix de revient de l'énergie croissent, à mesure que le $\cos \varphi$ s'abaisse, dans la proportion indiquée par le tableau ci-après :

| $\cos \varphi$ | 1 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
|---------------------------------|---|------|------|------|-------|
| Coût des installations..... | 1 | 1,11 | 1,19 | 1,46 | 2,1 |
| Pertes..... | 1 | 1,56 | 2,05 | 4 | 11,09 |
| Prix de revient de l'énergie... | 1 | 1,08 | 1,14 | 1,38 | 2,26 |

ORGANISATION DU CONGRÈS. — Les questions se rattachant au facteur de puissance ont été étudiées par le Congrès au cours de deux séances comportant chacune un programme distinct. La première a été consacrée à des considérations d'ordre théorique sur le sujet et à l'exposé des différents moyens, ressortissant tant au domaine du constructeur qu'à celui de l'exploitant, susceptibles d'être mis en œuvre pour neutraliser l'influence du courant magnétisant ou, dans certains cas, en assurer la meilleure répartition sur le réseau. Dans la seconde séance ont été discutés les méthodes et appareils de mesures variés, imaginés pour permettre de tenir compte du $\cos \varphi$ dans la vente d'énergie aux consommateurs, et les divers modes de tarification qu'il est possible de baser sur leur emploi. Une exposition de matériel et d'accessoires, se rattachant par leur application à la solution des problèmes traités en séance, avait été organisée par les principales maisons de construction dans un local situé à proximité de la salle des réunions.

Première séance. — Le facteur de puissance des moteurs asynchrones peut être amélioré en réduisant l'entrefer, ce qui est possible en recourant à une exécution plus soignée et en établissant les paliers avec des roulements à billes ou à rouleaux ; il paraît avantageux, au même point de vue, d'utiliser le type de moteur à rotor en court-circuit jusqu'à une puissance de 30 ch ; en vue de diminuer la dispersion, il conviendrait peut-être de construire ce genre de machines pour de grandes vitesses, à condition de les pourvoir d'engrenages réducteurs.

Un autre moyen pour améliorer le $\cos \varphi$ consiste à diminuer la saturation aux faibles charges ; ce résultat est

obtenu, pour le tiers de la charge, en passant du système de connexion en triangle au système de connexion en étoile et, pour la demi-charge, en créant un triangle neutre à l'aide de sorties pratiquées en des points convenables sur chaque phase.

Le moteur synchrone est susceptible d'être utilisé normalement pour des puissances à partir de 30 ch. Une firme, toutefois, construit de petits moteurs (jusqu'à 5 ch), d'un type spécial qu'elle estime devoir rendre de bons services dans des ateliers d'artisans, par exemple ; pour que leur emploi ne soit pas désavantageux, au point de vue économique, il suffirait que les compagnies d'électricité consentissent aux usagers un rabais, d'ailleurs fort légitime en l'espèce, sur le prix de vente de l'énergie.

A noter, incidemment, que les conditions de démarrage des moteurs synchrones ont été améliorées dans ces derniers temps. Grâce à l'adjonction d'enroulements amortisseurs venant aboutir à des bagues collectrices et déterminant la production d'un champ transversal, à une modification de la disposition de l'entrefer et à l'adoption de pôles feuilletés, on a pu obtenir la mise en marche de ces machines avec un couple égal à 1,6 fois le couple normal pour une puissance au démarrage double de la puissance nominale.

Il est possible de brancher un moteur asynchrone sur un réseau sans qu'il en résulte, en même temps, sur celui-ci une demande de puissance réactive : il suffit, à l'aide d'une machine spéciale à collecteur, connectée aux bagues du rotor du moteur d'induction, de fournir à celui-ci le courant magnétisant qui lui est nécessaire, par la voie des enroulements du rotor, à la fréquence de glissement. Le rapporteur signale, notamment, à ce propos le modèle de machine à collecteur de la Compagnie Brown-Boveri, dont l'excitation est obtenue avec le courant de rotor du moteur asynchrone conjugué et qui, grâce à l'adoption d'une forte saturation, assure déjà une compensation complète du déphasage à 30 pour 100 de la charge normale.

Le vibreur de Kapp peut également être utilisé comme avanceur de phase ; quant aux machines synchrones, elles sont appelées à remplir le même office de plus en plus, à l'avenir. Quelques types de ces machines ont été présentés au cours de la séance ; il ressort des renseignements fournis qu'il est possible de les calculer de manière à en avoir un fonctionnement avantageux même pour $\cos \varphi = 0$.

La question se pose de savoir comment et dans quelle mesure il convient, pratiquement, de mettre en œuvre les moyens d'amélioration du facteur de puissance qui viennent d'être examinés.

S'il s'agit d'installations nouvelles, on fera un large emploi de moteurs synchrones ; on veillera à ce que les moteurs asynchrones soient dimensionnés très près de la puissance effectivement requise en service ; on étudiera avec soin, dans chaque cas, les avantages comparatifs de la commande par groupe ou individuelle.

Dans le cas d'installations existantes, force est d'accepter la situation de fait créée par la présence d'un grand nombre de petits moteurs asynchrones et de chercher à remédier aux inconvénients qui en résultent par des solutions appropriées.

Si l'on a recours à des machines synchrones pour corriger le déphasage, il importe de placer ces machines le plus près possible des points où a lieu la demande de puissance réactive ; si on les dispose à la centrale, le degré d'utilisation des machines à vapeur et des alternateurs peut être accru, mais les conditions sur les lignes du réseau ne seront nullement modifiées pour cela. Un $\cos \varphi$ égal à l'unité n'est pas

(1) MATTHIAS. E. T. Z., 29 décembre 1921, t. XLII, p. 1505-1508, 6000 mots.

dans tous les cas le plus avantageux, un facteur de puissance inférieur, tel que 0.9 donnant, dans certains cas, des résultats plus satisfaisants. Quoi qu'il en soit, la correction du facteur de puissance, avec des machines synchrones, sur la base d'une valeur à obtenir fixée à l'avance, est réalisée automatiquement en recourant à l'emploi de régulateurs spéciaux (régulateur A. E. G. fonctionnant d'après le même principe que les régulateurs Tirrill, régulateur rapide des Siemens-Schuckert Werke).

Les moyens préconisés pour l'amélioration du facteur de puissance offrent, au point de vue théorique, des avantages incontestables, tous les membres du Congrès ont été unanimes à le reconnaître; l'opinion, par contre, s'est montrée assez divisée sur le point de savoir si leur application dans les cas concrets de la pratique est susceptible de conduire à des économies réelles.

Suivant certains, il n'y aurait pas d'utilité économique appréciable à chercher à rapprocher de l'unité un $\cos \varphi$ égal à 0.7; les résultats seraient naturellement différents si l'on prenait comme point de départ un facteur nettement plus bas, 0.5 par exemple.

Lorsqu'il s'agit d'une installation nouvelle, il convient de remarquer que tous les éléments ne sont pas uniformément influencés dans le sens d'une majoration du prix de premier établissement, par la présence du courant magnétisant sur la distribution. S'il est nécessaire de prévoir un poids plus important de cuivre, il n'est nullement besoin de changer les dimensions des isolateurs, la grandeur des bâtiments, la puissance des machines à vapeur et des chaudières, etc.

Mais, en fait, suivant une autre opinion, le cas qui se présente le plus souvent dans la pratique est celui d'une installation existante dans laquelle le facteur de puissance défavorable a pour résultat de diminuer la puissance réellement utilisable des machines, réduction dont on est conduit, automatiquement, à tenir compte en imputant au chapitre exploitation les sommes représentant l'intérêt et l'amortissement du capital improductif. Ces considérations prennent de l'importance à la lumière des résultats obtenus, au point de vue économique, sur certains réseaux, ainsi qu'il ressort d'un certain nombre de communications présentées au cours de la séance.

Dans la centrale de Südharz, dont le $\cos \varphi$, en raison du caractère de la charge, constituée par la clientèle de l'industrie potassique, est franchement mauvais, 0.5 environ, l'économie journalière réalisée, en faisant fonctionner une des deux machines installées comme moteur synchrone, a atteint 3 500 marks, après déduction des dépenses correspondant à la marche à vide de la machine à vapeur accouplée; la puissance active développée dans cette usine est de 6 400 kw seulement.

Dans la centrale de Gruson, un alternateur, entraînant sa turbine tournant dans le vide avec valve d'admission fermée, est utilisé, de même, pour améliorer le facteur de puissance; la charge de jour, à peu près constante, est de 2 000 kw environ; l'économie réalisée, pour une année, a été de 150 000 marks.

Le rapport signale, à titre documentaire, quelques autres procédés permettant d'agir sur le $\cos \varphi$: accroissement de la puissance utile absorbée par le branchement sur le réseau d'appareils récepteurs électrothermiques (machines à souder, forges électriques, etc.); emploi de condensateurs; mise à profit de caractères particuliers présentés par les redresseurs.

Deuxième séance. — Relativement à la question des appareils de mesure et aux systèmes de tarification proposés il convient de noter les points suivants: la technique met,

actuellement, à la disposition des exploitants, des compteurs de puissance active et de puissance réactive d'une exactitude irréprochable; des compteurs de puissance apparente donnant des lectures correctes, ou approximativement correctes, dans de certaines limites seulement du facteur de puissance; des compteurs d'une précision satisfaisante enregistrant le produit du temps, en heures, par le carré de l'intensité du courant. A tous ces compteurs peut être adjoint un indicateur de puissance absorbée maximum, enregistrant la plus haute valeur de la charge moyenne constatée pendant des intervalles successifs d'une durée déterminée, quinze minutes, par exemple. Les compteurs d'ampères-heure, pour courant alternatif, ont été étudiés par les constructeurs qui se heurtent, dans leur réalisation, à de grosses difficultés. A la série des appareils indiqués ci-dessus, il convient d'ajouter, comme étant de fabrication courante, les indicateurs de puissance réactive et de facteur de puissance.

L'emploi de ces différents instruments s'impose, à des degrés assez divers, suivant les cas de la pratique; s'il paraît indiqué, en effet, de ne ménager aucun moyen de contrôle lorsqu'il s'agit, par exemple, de centrales et, en particulier, de centrales fonctionnant en parallèle, il est désirable, d'un autre côté, d'éviter, pour les petits consommateurs, l'installation d'un second compteur, quitte à établir les tarifs correspondants en conséquence.

Dans le cas de gros consommateurs, la tarification peut être assise, avec avantage, sur les indications d'un compteur combiné de puissance active et de puissance réactive, dont des modèles variés sont construits par d'assez nombreuses firmes.

Pour des consommateurs d'importance moyenne, le procédé à employer consiste à stipuler une redevance additionnelle correspondant aux kilowatts-heure d'énergie réactive marqués par un compteur ad hoc; un indicateur de puissance réactive peut être installé, en même temps, afin de permettre au client de se renseigner, à tout moment, sur l'importance du courant magnétisant absorbé donnant lieu au paiement de la taxe supplémentaire.

La valeur de la puissance apparente, malgré que sa détermination ne puisse être faite avec une exactitude parfaite à l'aide des instruments existants, a été considérée, par le Congrès, comme une des bases les plus naturelles sur laquelle il convient de fonder un système de tarification vraiment rationnel. Dans les contrats importants, la redevance fixe pourra, en conséquence, être calculée sur cet élément au lieu de l'être sur la puissance réelle.

Pour terminer, le rapport passe en revue les compteurs combinés de modèles assez divers fabriqués par les principaux constructeurs, en en faisant connaître les particularités distinctives. Ces appareils permettent d'obtenir tous les renseignements utiles sur la marche d'une installation, au point de vue facteur de puissance, et peuvent être utilisés pour servir de base à des tarifs de consommation plus variée.

L. D.

Tensions de service maxima admissibles dans les câbles ⁽¹⁾.

GÉNÉRALITÉS. — On a cru longtemps que la valeur de la contrainte statique maximum caractérisant le régime permanent d'un câble, sous la tension de service, représentait le facteur d'importance prépondérante conditionnant le mode de construction à adopter pour ce genre de canalisation.

L'exactitude de cette opinion pouvait vraisemblablement

(1) Charles W. Davis et Donald M. SIMONS, *J. A. I. E. E.*, 12 janvier 1921, p. 12 à 22, 6500 mots, 5 fig., 5 tab.

être confirmée par les faits, s'il était possible, toutefois, de réaliser des câbles avec un diélectrique absolument homogène dans toutes ses parties et d'assurer un contact parfait entre l'isolant, d'une part, et les conducteurs et la gaine de plomb, d'autre part.

Mais, ainsi que l'expérience l'a montré, le plus léger défaut d'homogénéité résultant soit d'une répartition inégale de la composition ayant servi à l'imprégnation, soit d'une distribution non uniforme des vides qui sont le siège du processus d'ionisation, est susceptible, normalement, de provoquer un commencement d'avarie dans la canalisation en des points où la contrainte est inférieure au maximum. On en déduit, ainsi que l'ont déjà signalé les auteurs dans une publication antérieure ⁽¹⁾, que la contrainte moyenne, ou encore, la contrainte à l'intérieur ou dans le voisinage des intervalles de bourrage, qui séparent entre eux les divers conducteurs isolés dans un câble triplex, acquiert, au point de vue qui nous occupe, une importance plus grande que la contrainte maximum. Comme la valeur de cette dernière contrainte constitue, malgré tout, une des données caractéristiques dont il est fait usage dans l'étude des limitations rencontrées dans la construction des câbles, il semble qu'il serait intéressant, en même temps qu'utile, de rechercher quelles sont, en l'espèce, les limites imposées par la considération de ce facteur envisagé séparément.

En particulier, en admettant qu'une certaine valeur de contrainte, mesurée par un chiffre déterminé de tension par centimètre d'épaisseur de l'isolant, représente la grandeur limite typique proposée comme critère au constructeur, il devient possible de fixer, à l'avance, les tensions maxima de service susceptibles d'être désormais appliquées dans les transmissions d'énergie par câbles; ceci suppose, bien entendu, que les dimensions extérieures des câbles pour lesquelles la technique actuelle a adopté un maximum qui ne saurait, pratiquement, être dépassé, ne seront pas augmentées à l'avenir.

Pour arriver à la solution du problème ainsi posé, il est nécessaire, seulement, de savoir calculer les contraintes qui se produisent dans les câbles à trois conducteurs soumis à l'action d'un système de tensions triphasées et de connaître la section particulière de conducteur pour laquelle la contrainte maximum, existant à la surface de ce dernier (le diamètre du câble, mesuré sous plomb, conservant d'ailleurs une grandeur invariable) acquiert sa valeur minimum.

CALCUL DE LA CONTRAINTE ELECTROSTATIQUE. — La valeur de la contrainte maximum, dans le cas d'un câble à conducteur unique, qui se produit, comme on le sait, à la surface de ce dernier, peut être calculée à l'aide de la formule connue

$$G = \frac{E}{r \log_e \frac{R}{r}},$$

dans laquelle E désigne la tension s'exerçant entre conducteur et gaine; R , le demi-diamètre du câble, correspondant à ses dimensions extérieures à la surface du revêtement isolant et r , le demi-diamètre du conducteur.

Au lieu de cette formule, comportant l'usage des logarithmes et d'emploi assez incommode, lorsqu'il s'agit d'opérations portant sur un grand nombre de câbles différents, on utilise, avec avantage, la courbe A de la figure 1, donnée par R.-W. Atkinson et dont on trouvera un exemple d'application détaillée dans l'appendice A, annexé au présent mémoire.

⁽¹⁾ Valeurs de l'effort diélectrique admissibles dans l'exploitation de câbles à haute tension. *R. G. E.*, 5 février 1921, p. 175.

Dans l'article précité ⁽¹⁾ R.-W. Atkinson expose également une méthode basée, comme point de départ, sur des études antérieures des auteurs, mais fondée, pour la majeure part, sur des expériences nouvelles soigneusement contrôlées et qui fournit, d'une façon simple, la solution complète du problème du calcul de la contrainte statique

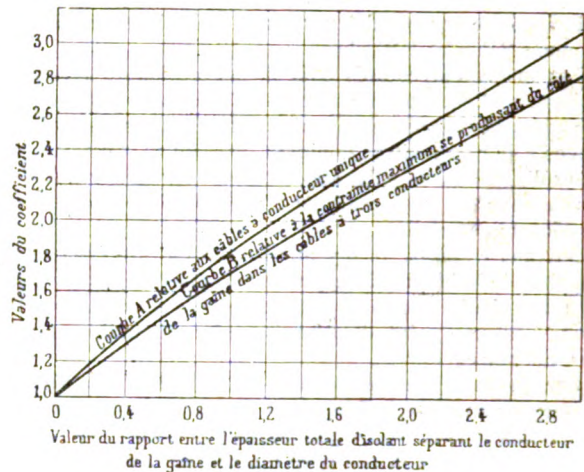


Fig. 1. — Courbes représentatives des relations existant entre la contrainte maximum et la contrainte moyenne dans les câbles.

dans le cas de câbles à trois conducteurs soumis à l'action d'un système de tensions triphasées.

Les résultats obtenus au cours des expériences mentionnées ont permis de poser les conclusions suivantes :

a) Pour les câbles dans lesquels l'épaisseur de l'isolant recouvrant chacun des conducteurs séparés ou constituant la ceinture qui entoure le faisceau de ces derniers se tient dans les limites consacrées par la pratique actuelle, la con-

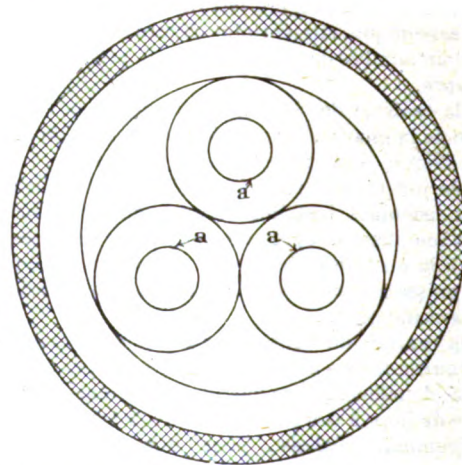


Fig. 2. — Endroits où se produit la contrainte maximum dans le cas où le câble est soumis à l'action de tensions triphasées (a représente ces endroits).

trainte maximum se produit à la surface des conducteurs aux points les plus rapprochés du centre du câble (points a de la figure 2).

⁽¹⁾ Le champ diélectrique dans les câbles de transport d'énergie électrique; R.-W. ATKINSON, *Proceedings A. I. E. E.*, juin 1919.

b) La valeur de cette contrainte est très sensiblement égale à celle déduite du calcul de la contrainte maximum dans un câble à conducteur unique de même diamètre d'âme conductrice que chacun des conducteurs du câble triplex et établi avec une épaisseur d'isolant égale à la plus courte distance entre la surface des conducteurs et le centre des câbles.

c) Pour tenir compte des épaisseurs variables d'isolant, par rapport au diamètre des conducteurs, il est nécessaire de faire intervenir un facteur de correction dont la valeur a été déterminée expérimentalement, pour un nombre de cas suffisants, de manière à permettre de remonter des résultats trouvés à l'équation qui les représente. En particulier, pour un rapport entre épaisseur d'isolant et diamètre de conducteur égal à 0,288, le facteur de correction est égal à 1,04 ; sa valeur est de 1,01 pour un rapport égal à 0,625 ; c'est par ces nombres, respectivement, qu'il convient de multiplier les valeurs exprimant les contraintes maxima, obtenues pour les câbles à conducteur unique équivalents, afin d'en déduire les contraintes maxima effectives, dans les câbles à trois conducteurs correspondants, établis suivant les proportions relatives d'épaisseur d'isolant et de diamètre de conducteur indiquées.

Le facteur de correction, restant compris, comme on le voit, entre des limites assez étroites, on admettra, pour plus de simplicité, qu'il varie suivant une relation linéaire ; pour des valeurs de rapport intermédiaires entre 0,288 et 0,625, on le calculera donc par interpolation ; pour des valeurs supérieures à 0,625, on pourra prendre comme facteur de correction la valeur 1. On observera, toutefois, que les opérations d'extrapolation pour des intervalles relativement distants des valeurs extrêmes de l'échelle ne sauraient conduire qu'à des résultats d'exactitude plus ou moins douteuse.

Un exemple concret d'application de la méthode d'Atkinson, pour le calcul de la contrainte maximum, dans le cas d'un câble à trois conducteurs, est traité en détail dans l'appendice B. Il n'est point inutile, incidemment, de faire remarquer que la contrainte maximum survenant, ainsi qu'il a été expliqué, au point de la section de chaque conducteur, le plus rapproché du centre du câble et qui représente le maximum absolu de toutes les contraintes existant dans les câbles de construction courante, n'est point le seul maximum qui se produise à l'intérieur de canalisations de ce genre ; un autre maximum peut être mesuré, à la surface de chaque conducteur, au point le plus rapproché de la gaine, et ce maximum pourrait même, théoriquement, arriver à dépasser, en valeur, le premier, si l'épaisseur de l'isolant constituant la ceinture était diminuée suffisamment ; mais, pour cela, la réduction devrait être poussée jusqu'à une limite bien au-dessous de celle qu'il apparaît impossible de franchir pour des considérations de résistance mécanique du câble.

Quoi qu'il en soit, il peut être souvent utile de connaître la valeur de la contrainte qui se produit du côté de la gaine, soit dans le cas où le câble canalise des courants triphasés, soit dans celui où il est soumis à un essai avec application d'une tension monophasée. La formule de Russell, pour des cylindres excentriques, est susceptible d'être utilisée, en l'espèce, l'expérience ayant confirmé l'exactitude des résultats qu'elle fournit, pour les câbles à trois conducteurs ; ce qui prouve, au surplus, que la contrainte existant à la surface de l'un des conducteurs n'est point influencée, d'une façon appréciable, par la présence des autres conducteurs ; plus simplement, on peut faire usage, pour arriver au même but, de la courbe B de la figure 1, due à R.-W. Atkinson et qui conduit à des résultats

tats à peu près identiques ; le mode d'opérer est analogue à celui déjà indiqué pour le calcul de la contrainte pour un câble à un seul conducteur ; un exemple concret d'application est traité, au reste, d'une façon détaillée dans l'appendice C.

Les considérations relatives à la contrainte maximum qui se produit au point de la surface du conducteur le plus rapproché de la gaine acquièrent une importance toute particulière dans le cas d'une canalisation par câble dont le neutre est isolé ; dans cette hypothèse, en effet, si l'un des conducteurs se trouve, accidentellement, mis à la terre, la pleine valeur de la tension de transmission est aussitôt appliquée entre chacun des deux autres conducteurs et la gaine. En prévision de cette occurrence, on a coutume, dans la construction des câbles destinés à un service du genre précité, d'augmenter l'épaisseur d'isolant constituant la ceinture comparativement aux dimensions correspondantes adoptées dans le cas d'un système de transmission avec point neutre à la terre ; dans la pratique courante, on donne à la ceinture une épaisseur égale à celle de l'isolant entourant chacun des conducteurs. La mesure mentionnée, toutefois, n'est que d'une efficacité relative ; en fait, lorsque, avec le neutre isolé, l'un des conducteurs vient à être mis à la terre, la contrainte, à l'endroit, sur chacun des autres conducteurs, le plus voisin de la gaine, acquiert une valeur considérablement plus élevée que la contrainte aux points semblablement placés, dans un câble avec neutre à la terre et ce, malgré que la ceinture de ce dernier soit établie avec une plus faible épaisseur. Cette particularité ressort clairement de l'étude de l'exemple suivant.

Soit un câble à trois conducteurs de 70 mm² de section, construit avec 7 mm d'isolant autour de chaque conducteur et pourvu d'une ceinture de 4 mm d'épaisseur. A la tension de service de 25 kv, la contrainte maximum absolue, vers le centre du câble, est de 27,3 kv/cm ; le second maximum de la contrainte, au point du conducteur le plus rapproché de la gaine, étant de 33,5 kv/cm ; ces résultats sont basés sur l'hypothèse que la transmission, dont le câble fait partie, a son point neutre à la terre.

Pour une canalisation avec point neutre isolé, les caractéristiques du câble employé seraient très vraisemblablement les suivantes : section, 70 mm² ; épaisseur de l'isolant entourant chacun des conducteurs égale à celle de la ceinture, soit 7 mm ; cette dernière comporterait donc une augmentation de 3 mm, par rapport à la dimension adoptée dans le système primitivement envisagé. Supposons, d'abord, que tous les conducteurs restent isolés par rapport au sol ; les contraintes maxima observées, dans ce cas, sont : 27,3 kv/cm vers le centre du câble et 19,3 kv/cm du côté de la gaine. Si l'un des conducteurs vient à être mis à la terre, cette dernière contrainte prend immédiatement une nouvelle valeur qui représente le maximum absolu de toutes les contraintes existant dans le câble et qui atteint en l'espèce 33,3 kv/cm. Cette contrainte, malgré la surépaisseur donnée à la ceinture, est donc notablement plus élevée que dans le câble examiné plus haut, qui comporte un revêtement plus mince, mais fonctionne avec point neutre à la terre.

Dans les calculs ci-dessus, on a admis, comme on admettra, dans la suite, pour ceux qui seront développés plus loin, que l'on a affaire avec des conducteurs théoriques, de section circulaire et à surface unie, d'un diamètre égal à celui de la circonférence enveloppe des torons réels ; on n'a tenu aucun compte, quant à présent, de l'influence exercée par le câblage des fils, constituant les conducteurs, sur la valeur de la contrainte. Cette influence a été étudiée par R.-W. Atkinson (1)

(1) *Loc. cit.*

qui a montré que le câblage avait pour résultat d'accroître la contrainte moyenne dans la proportion de 20 pour 100 environ. Il reste à rechercher, en recourant à de nouvelles expériences, s'il convient d'attacher une grande importance au fait de l'augmentation de la contrainte dans les conducteurs câblés par rapport à celle qui serait observée dans les conducteurs pleins de section circulaire et ce, soit dans le cas de régimes permanents sous de hautes tensions, soit dans le cas de régimes variables comportant des surtensions momentanées. Selon toute apparence, cette contrainte additionnelle, avec une isolation homogène, tout au moins, est susceptible de se traduire par des effets affectant d'une façon profondément marquée le fonctionnement des câbles.

CALCUL DES CONTRAINTES. — Le calcul des différents genres de contrainte, d'après les règles que l'on vient d'exposer, conduit à des opérations assez laborieuses, lorsqu'il s'agit de déterminer les valeurs de ces efforts pour un grand nombre de câbles. En vue de faciliter l'obtention des résultats correspondants, on a préparé des tables qui permettent, pour un câble dont les dimensions et l'épaisseur d'isolant sont connues, de trouver un nombre qui, multiplié par la tension de ligne en kilovolts, donne la contrainte cherchée.

TABLE I

Contrainte maximum dans les câbles à trois conducteurs soumis à un système de tensions triphasées.

Le câble étant supposé donné par ses dimensions de conducteur et l'épaisseur d'isolant entre conducteurs, chercher, dans la table, le nombre correspondant à ces deux grandeurs; multiplier ce nombre par la tension entre conducteurs exprimée en kilovolts; le produit obtenu représente la contrainte en kilovolts par centimètre.

| SECTION DU CONDUCTEUR mm ² | DIAMÈTRE mm | ÉPAISSEUR TOTALE DE L'ISOLANT ENTRE CONDUCTEURS mm | | | | | | |
|---------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 6 | 6,5 | 7 | 7,5 | 8 | 9 | 10 |
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 16 | 5,13 | 1,74 | 1,67 | 1,60 | 1,53 | 1,49 | 1,44 | 1,40 |
| 25 | 6,40 | 1,58 | 1,50 | 1,43 | 1,38 | 1,34 | 1,30 | 1,25 |
| 35 | 7,66 | 1,46 | 1,39 | 1,33 | 1,27 | 1,23 | 1,18 | 1,15 |
| 50 | 9,16 | 1,37 | 1,30 | 1,24 | 1,18 | 1,13 | 1,09 | 1,05 |
| 70 | 10,82 | 1,20 | 1,22 | 1,16 | 1,10 | 1,05 | 1,01 | 0,98 |
| 95 | 12,60 | 1,22 | 1,15 | 1,10 | 1,04 | 1,00 | 0,96 | 0,92 |
| 120 | 14,23 | 1,16 | 1,10 | 1,05 | 1,00 | 0,96 | 0,92 | 0,88 |
| 150 | 15,90 | 1,12 | 1,06 | 1,01 | 0,96 | 0,92 | 0,88 | 0,85 |
| 185 | 17,67 | 1,08 | 1,02 | 0,97 | 0,93 | 0,88 | 0,85 | 0,81 |
| 240 | 20,13 | 1,03 | 0,97 | 0,92 | 0,88 | 0,84 | 0,81 | 0,78 |
| 310 | 22,88 | 0,98 | 0,93 | 0,89 | 0,85 | 0,81 | 0,77 | 0,75 |

TABLE II

Contrainte maximum sur les conducteurs, du côté de la gaine, dans les câbles à trois conducteurs.

Le câble étant supposé donné par ses dimensions de conducteur et l'épaisseur d'isolant entre ces conducteurs, chercher, dans la table, le nombre correspondant à ces deux grandeurs; multiplier ce nombre par la tension entre conducteurs exprimée en kilovolts; le produit obtenu représente la contrainte en kilovolts par centimètre.

On rappelle que la contrainte dans un câble triplex, canalisant des courants triphasés, acquiert un maximum en deux points distincts de la surface de chaque conducteur; le plus élevé des deux se produit, d'ordinaire, du côté du centre du câble et sa valeur peut être obtenue en se servant de la table I.

La table II, en outre de son emploi pour l'objet qui a été indiqué, peut être encore utilisée pour déterminer la contrainte maximum dans le cas où le câble est soumis à l'action d'une tension monophasée (tension appliquée entre les trois conducteurs et la gaine, entre deux conducteurs et l'autre conducteur et la gaine, etc.). Dans les câbles de fabrication courante, le maximum de la contrainte a lieu à la surface de chaque conducteur, du côté le plus rapproché de la gaine; sa valeur se déduit immédiatement du produit calculé ainsi qu'il a été expliqué plus haut, en multipliant ce dernier par $\sqrt{3} = 1,73$.

| SECTION DU CONDUCTEUR mm ² | DIAMÈTRE mm | ÉPAISSEUR TOTALE DE L'ISOLANT ENTRE CONDUCTEURS ET GAINÉ (mm) | | | | | | |
|---------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 6 | 6,5 | 7 | 7,5 | 8 | 9 | 10 |
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 16 | 5,13 | 1,74 | 1,66 | 1,59 | 1,53 | 1,47 | 1,38 | 1,31 |
| 25 | 6,40 | 1,60 | 1,53 | 1,45 | 1,39 | 1,34 | 1,25 | 1,18 |
| 35 | 7,66 | 1,51 | 1,43 | 1,36 | 1,30 | 1,25 | 1,16 | 1,10 |
| 50 | 9,16 | 1,43 | 1,35 | 1,28 | 1,22 | 1,17 | 1,09 | 1,02 |
| 70 | 10,82 | 1,36 | 1,29 | 1,22 | 1,16 | 1,11 | 1,03 | 0,96 |
| 95 | 12,60 | 1,31 | 1,23 | 1,17 | 1,11 | 1,06 | 0,98 | 0,91 |
| 120 | 14,23 | 1,27 | 1,19 | 1,13 | 1,07 | 1,02 | 0,94 | 0,87 |
| 150 | 15,90 | 1,24 | 1,16 | 1,10 | 1,04 | 0,99 | 0,91 | 0,84 |
| 185 | 17,67 | 1,21 | 1,14 | 1,07 | 1,02 | 0,97 | 0,89 | 0,82 |
| 240 | 20,13 | 1,18 | 1,11 | 1,04 | 0,98 | 0,94 | 0,86 | 0,79 |
| 310 | 22,88 | 1,16 | 1,08 | 1,02 | 0,96 | 0,91 | 0,83 | 0,77 |

Nota. — Cette table a été établie en faisant usage de la formule de Russell pour des cylindres excentriques suivant la méthode exposée par R.-W. Atkinson (*Proceedings A. I. E. E.*, juin 1919, p. 836).

En outre des tables I et II ci-dessus, les auteurs donnent, dans leur mémoire original, deux autres tables permettant de déterminer, d'une façon analogue, les contraintes maxima dans les câbles à conducteur unique et dans les câbles type « H », à propos desquels des précisions seront fournies plus loin. Ces tables, n'étant pas basées sur les mesures métriques, et n'étant, au reste, que la traduction d'une formule connue, on n'a point jugé utile de les reproduire ici.

(A suivre).

L. D.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

L'Union électrique (Saint-Claude, Jura).

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 23 NOVEMBRE 1921.

Durant cet exercice, des résultats importants ont été obtenus dans le réajustement des tarifs de l'électricité que la situation économique exigeait.

Des progrès sensibles ont été également réalisés dans l'organisation technique de la société, notamment en ce qui concerne la production d'énergie thermique. Cela a permis de résister à la crise extraordinaire de sécheresse qui a marqué l'hiver 1920-1921 et l'été 1921.

Mais si la distribution a pu être améliorée, le combustible qu'il a fallu ainsi consommer en grande quantité a atteint, surtout dans le deuxième semestre de 1920, des prix dépassant toutes prévisions.

A ce surcroît de dépenses est venue s'ajouter la répercussion sur les charges financières de la société de l'élévation du change suisse. En effet, une partie importante des coupons d'obligations de l'Union électrique sont payables en francs suisses.

L'an dernier, les démarches engagées en vue d'obtenir le relèvement des tarifs de vente de l'électricité étaient, en dépit de quelques résistances, en assez bonne voie.

Depuis cette époque, une commission consultative, prévue par les circulaires ministérielles et comprenant des représentants de l'administration, des communes et des consommateurs, a formulé, en janvier 1921, après de minutieuses enquêtes, un avis unanime chiffrant le relèvement des tarifs que comportent les circonstances consécutives à la guerre.

La société a pu mettre en application des tarifs nouveaux dès les premiers mois de 1921.

Il a fallu cependant constater que certaines communes et quelques rares abonnés, suivant des conseils inspirés par le parti pris ou l'intérêt personnel, ont refusé de traiter jusqu'ici sur les bases nouvelles et la société a dû s'adresser aux juridictions compétentes pour obtenir satisfaction.

En novembre 1920, la société avait dû recourir au régime des restrictions.

Dès les premiers jours de décembre, la distribution complète a pu être reprise, grâce à l'appoint du deuxième groupe Diesel de 1 500 ch de Villefranche-sur-Saône.

Peu après, au début de 1921, le premier groupe Diesel de 1 000 ch, enfin remis en état après un grave accident survenu pendant la guerre, a pu reprendre son service.

Enfin, la Compagnie électrique de la Loire et du Centre s'est efforcée de fournir à l'Union électrique tout le secours dont elle pouvait avoir besoin.

Le programme de la société pendant l'exercice écoulé a été de rétablir la régularité de sa distribution en augmentant ses ressources thermiques et en renforçant ses organes de liaison à haute tension.

Dans le secteur du Saut-Mortier, l'installation du groupe Diesel de 1 500 ch de Saint-Claude a été poussée activement. Le raccordement de cette usine nouvelle sur le reste du réseau a donné lieu à la création d'une ligne à 5 000 v et à l'installation de transformateurs au poste de la Coupe.

L'aménagement du poste 35 000 v/26 000 v au Saut-Mortier s'est poursuivi.

L'installation du deuxième groupe de 1 500 ch à l'usine hydroélectrique du lac de Châlain est achevée.

La ligne de Châlain-Saut-Mortier à 35 000 v a été remise en état.

L'ensemble des travaux neufs exécutés dans ce secteur dans le cours de l'exercice 1920-1921 a exigé une dépense de 1 155 449,50 fr.

Dans le secteur de Bourg, le deuxième groupe Diesel de Villefranche a été remis en route en mars 1921; son fonctionnement est très satisfaisant.

Une ligne à 40 000 v de 20 km a été construite entre Cluny et le poste de Vinzelles, près Mâcon, pour faire la liaison avec la Compagnie électrique de la Grosne et, par son intermédiaire, avec la centrale des Mines de Blanzay. La société a pu recevoir ainsi un secours de 2 000 ch. Cette jonction a entraîné l'installation à Vinzelles d'un auto-transformateur 40 000/35 000 v.

Les dépenses pour travaux neufs dans le secteur de Bourg se sont élevées pendant l'exercice 1920-1921 à 1 184 064,85 fr.

Le Conseil s'est préoccupé en même temps de l'avenir et il a adopté comme programme de mettre à la disposition de la société des quantités importantes d'énergie hydraulique.

Pour cela, il s'est mis d'accord avec la Compagnie électrique de la Loire et du Centre en vue de diriger sur la station de Villefranche la part de courant de la Haute-Isère dont cette société s'est assurée la disposition.

L'Union électrique a participé à la fondation de la Société de Transport d'Énergie des Alpes qui doit amener jusqu'à Villefranche du courant de la chute de la Vielaire (Société de la Haute-Isère). En vue de la réalisation de son programme, la Société de Transports d'Énergie des Alpes a porté son capital à 8 000 000 fr. et l'Union a souscrit sa part du capital nouveau.

L'aménagement de la chute de la Vielaire est en très bonne voie.

La société a également pris une participation dans la Société de Transport d'Énergie du Centre qui pourra, le jour venu, amener sur les réseaux, par une ligne venant de Roanne, de l'énergie hydraulique du Massif Central, ou des secours thermiques fournis par la Compagnie électrique de la Loire et du Centre.

Enfin, elle continue à étudier avec l'administration l'aménagement de chutes dans le Haut-Jura, pour lesquelles elle a demandé une concession.

Les recettes d'électricité se sont élevées pour l'exer-

cice 1920-1921 à 6 332 446,60 fr contre 3 719 421,40 pour l'exercice 1919-1920; l'augmentation provient en partie de l'application des nouveaux tarifs.

Les recettes de gaz ont été de 468 898,20 fr contre 265 322,40 fr pour l'exercice 1919-1920; l'augmentation résulte surtout de l'application de tarifs nouveaux et variables avec le prix du charbon.

Les recettes diverses ont été de 127 967,10 fr.

Soit un total de 6 929 311,90 fr.

Les dépenses de l'exercice, y compris les frais généraux, les charges des emprunts, le montant des obligations sorties au tirage et la perte sur le change, se sont élevées à 6 915 218,45 fr.

Le bénéfice de l'exercice ressort donc à 14 093,45 fr.

En y joignant le solde reporté de l'exercice 1919-1920, 804,18 fr, le solde disponible est de 14 897,63 fr.

Il faut en déduire le montant des obligations sorties au tirages soit 12 703,60 fr. Il reste un solde de 2 194,03 fr, qui est reporté à nouveau.

Nota. — Dans le courant de l'exercice 1920-1921, la société a souffert de l'élévation du change suisse. Il a paru cependant nécessaire au Conseil de laisser intact le « fonds de réserve pour risques de change » qui a été constitué dans les exercices antérieurs et qui s'élève actuellement à 700 000 fr. La société reste, en effet, débitrice à ce jour, vis-à-vis de ses banquiers suisses, de 1 258 414,95 fr (francs suisses), figurant encore au bilan, pour leur valeur nominale qui suppose le change au pair, et les variations possibles du change dans l'avenir rendent cette situation de plus en plus préoccupante. Il convient donc de rechercher toutes mesures de prévoyance et de prudence à cet égard.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

| <i>Actif.</i> | | fr |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|
| Fonds de commerce, frais de constitution et de premier établissement..... | Mémoire. | |
| Immeubles, ouvrages hydrauliques, usines et réseaux. | | |
| Secteur du Saut-Mortier : | | |
| Au 1 ^{er} juillet 1920..... | 13 167 542,83 | |
| Amortissement..... | 1 480 000 » | |
| | | 11 687 542,83 |
| Installations courant exercice 1920-1921..... | 1 155 449,50 | |
| Secteur de Bourg : | | |
| Au 1 ^{er} juillet 1920..... | 5 990 132,34 | |
| Installations courant exercice 1920-1921..... | 1 189 064,85 | |
| Chute de Serrières-sur-Ain..... | 200 000 » | |
| Concessions, études et projets divers au 1 ^{er} juillet 1920..... | 334 538,10 | |
| Amortissement..... | 285 558,45 | |
| | | 48 679,65 |
| <i>A reporter.....</i> | | 20 270 869,17 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <i>Report.....</i> | 20 270 869,17 |
| Augmentation exercice 1920-1921..... | 1 952,80 |
| Matériel en magasin : | |
| Gaz..... | 76 525 » |
| Electricité, Saut-Mortier..... | 584 985,60 |
| Electricité, Bourg..... | 824 181,50 |
| Mobilier : | |
| Saut-Mortier..... | 16 613,30 |
| Bourg..... | 7 285,25 |
| Outils : | |
| Saut-Mortier..... | 63 415,05 |
| Bourg..... | 37 892,10 |
| Compteurs et divers en location : | |
| Saut-Mortier..... | 56 145,25 |
| Bourg..... | 129 940,20 |
| Débiteurs divers..... | 10 000 » |
| Compte d'ordre : nos acceptations Banque suisse des Chemins de fer..... | 605 000 » |
| Compte d'ordre gaz..... | 105 084,75 |
| Espèces en caisse et en banques..... | 118 098,85 |
| Débiteurs divers..... | 1 044 851,30 |
| Avances sur commandes..... | 89 637,30 |
| Prime de remboursement, obligations 5 pour 100, série C 1914..... | 419 891,58 |
| Portefeuille..... | 795 700 » |
| | <u>25 258 369 »</u> |

Passif.

| | fr |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Capital-actions..... | 7 000 000 » |
| Réserve légale..... | 62 633,55 |
| Réserve pour marche usine thermique..... | 50 000 » |
| Fonds d'amortissement des immobilisations..... | 223 500 » |
| Fonds de réserve pour risques de change..... | 700 000 » |
| Amortissement des obligations sorties 1915-1921, remboursement ajourné..... | 1 082 000 » |
| Obligations 4 pour 100 série A..... | 422 500 » |
| Obligations 4,5 pour 100 série B..... | 2 775 000 » |
| Obligations 5 pour 100 série C..... | 5 145 000 » |
| Créanciers divers..... | 312 166,30 |
| Compte d'ordre : acceptations Banque suisse des chemins de fer (contre-partie de l'actif)..... | 605 000 » |
| Compte d'ordre provisionnel gaz..... | 118 116,95 |
| Créanciers divers et fournisseurs..... | 5 520 627,14 |
| Obligations à rembourser..... | 1 081 500 » |
| Coupons à payer : | |
| Actions..... | 1 643,95 |
| Obligations..... | 113 763,50 |
| Profits et pertes : | |
| Solde bénéficiaire de l'exercice 1920-1921..... | 14 093,45 |
| Solde reporté, exercice 1919-1920..... | 804,18 |
| | <u>25 258 369 »</u> |

ERRATUM

Au sujet de l'article « Henrymètre à lecture directe » par M. BARTHÉLEMY paru dans la « R. G. E. » du 25 mars 1922, t. XI p. 419-424 faire les rectifications suivantes :

Page 421, 1^{re} colonne, 5^e ligne; lire : Ce courant est ainsi indépendant; même colonne 23^e ligne. lire : $r < 1000 \lambda$.

Page 422, 2^e colonne, 2^e ligne sous la fig. 7. lire $L_0 = \frac{4}{\alpha} n^2$.

SECTION DE LÉGISLATION

La question des amortissements et le fisc, principalement au point de vue des concessions de distribution

Peu après son article sur la jurisprudence du Conseil d'Etat en matière de bénéfices de guerre, l'auteur a reçu des demandes d'explications sur la question des amortissements, tant en ce qui concerne le bénéfice supplémentaire soumis à la loi du 1^{er} juillet 1916, qu'en ce qui concerne le bénéfice taxé à l'impôt cédulaire. Dégager les principes généraux en matière d'amortissement, préciser les controverses auxquelles il a donné lieu, montrer ce qui doit être adopté notamment en matière de concessions de distribution, tel est le but de cette étude.

S'il est une question de comptabilité où l'on entend formuler des « principes », c'est bien certainement celle des amortissements. Les agents taxateurs n'émettent pas une opinion généralement contraire à celle de l'imposé, sans la commencer par une affirmation doctrinale : « c'est une règle formelle qui veut que... » Pour être juste, disons que certains comptables, en des termes moins solennels, mais aussi affirmatifs, leur répondent : « ce serait une grande erreur de procéder autrement que notre maison. » Aussi, nous sommes-nous créé l'obligation de fabriquer, à notre usage, un petit répertoire des théories présentées comme infaillibles, avec les réponses qui démontrent qu'elles ne le sont point : après avoir donné le résumé de quelques-unes d'entre elles, nous essaierons de déduire un certain nombre de règles précises et bien pratiques.

I. — A) M. l'inspecteur de R... a déclaré : « C'est une faute impardonnable que d'amortir un poste autre que l'un de ceux inscrits à l'actif d'un bilan : d'abord c'est une tromperie parce que si l'on amortit un poste du passif, on crée toujours une réserve déguisée. Ensuite, c'est une insulte à la langue française, car l'amortissement, ne pouvant être que la correction d'une diminution de valeur, est un terme qui ne pourrait être appliqué qu'à une chose ayant une valeur réalisable, et ce n'est qu'à l'actif que l'on trouve une inscription de cette nature. »

Si M. l'inspecteur a raison, toute écriture où l'on aura déclaré « amortir un capital » contiendra une supercherie et, surtout, une faute d'orthographe financière. Or, il se trouve qu'aux environs du jour où son propos nous était rapporté, nous ouvriions, par une coïncidence fortuite, plusieurs documents de premier ordre. Le premier, c'est l'excellent livre de M. Quesnot, inspecteur des Finances et professeur à l'Ecole des Hautes Etudes commerciales, intitulé « Administration financière, Méthodes comptables et Bilan », et nous y lisons tout un chapitre intitulé « l'amortissement du capital ». Cela nous a produit une impression de récon-

fort ; car, s'il est banal jusqu'à la naïveté de remarquer que le capital est toujours écrit au passif, il se dégage du titre précité que l'on ne dit pas une absurdité en réunissant ces deux mots l'un à l'autre « Amortissement et capital ». Seulement, il suffit de comprendre ce qu'on lit, et l'auteur explique merveilleusement la légalité de l'expression, en ces termes : « pour éviter toute confusion dans les idées, dit-il, page 292, et pour étudier à la fois la justification financière et la légalité de l'amortissement du capital et les combinaisons diverses dans lesquelles il peut entrer, il faut étudier les amortissements d'actions séparément et suivant la nature des entreprises qui sont appelées à en faire usage ».

Et cela est parfaitement exact : au point de vue de leur direction générale et de leur politique financière, les exploitations doivent se diviser en deux grandes catégories bien distinctes, selon la nature de l'actif qu'elles utilisent, c'est-à-dire selon que cet actif doit ou non représenter en fin de gestion un gage pouvant être liquidé et affecté au remboursement du passif. Il existe des actifs qui, en les supposant matériellement solides comme le roc et même le granit (il n'en est pas beaucoup), ou inusables comme des terrains nus, ne s'en trouveront pas moins un jour évaporés. C'est en majeure partie des « actifs » de cette nature que possèdent les concessions de distribution d'énergie électrique qui, d'après les cahiers des charges imposés par des décrets connus de tous, doivent remettre gratuitement aux mains de l'autorité concédante les installations occupant la voirie et même des usines génératrices si elles les ont comprises dans la concession. Chaque élément est soumis à un coefficient d'usure comme toute chose, et si l'on oubliait d'en tenir compte, on arriverait quelquefois au bout de dix ans à l'obligation de trouver un nouveau capital, pour remplacer l'objet disparu. Mais, même si l'objet est inusable, il disparaîtra dans quarante ans par le jeu du contrat : il est donc juridiquement destiné à périr ; il est « défectible ». Et après avoir longuement expliqué ce principe,

M. Quesnot ajoute : « toute la politique financière d'une exploitation est subordonnée à ces considérations ; les entreprises dont l'actif peut être réalisé en liquidation finale n'ont à se préoccuper que de maintenir ce gage au niveau du passif par quelques amortissements convenables... Tout autre est la situation d'une exploitation dont l'actif est défectible : l'entreprise devra, suivant l'expression usuelle, *pousser l'amortissement jusqu'à la reconstitution du capital*, c'est-à-dire que ses bénéfices seront d'abord affectés à reconstituer la valeur totale de son actif ; s'il est exclusivement composé de valeurs caduques, elle ne peut se contenter d'une productivité quelconque : le minimum de sa puissance productive doit donc être très élevé. »

D'autre part, et comme nous l'avons dit, presque le même jour, nous recevions du Conseil d'Etat la copie du fameux arrêt du 30 décembre 1921, ville de Noisy-le-Sec contre Société suburbaine du Gaz et de l'Electricité.

Cet arrêt rendu dans une instance en indemnité pour charge extracontractuelle, a défini les éléments de « perte » que l'autorité concédante qui a refusé une augmentation de tarif, doit réparer chez le concessionnaire, savoir : les dépenses d'exploitation, le légitime intérêt du capital et l'amortissement normal dudit capital. Cet arrêt reprend, à l'égard d'un *travail public* accompli par un gazier ou un électricien, les termes mêmes qui avaient été déjà employés par le Conseil d'Etat le 25 novembre 1921, pour un contrat de *service public* (affaire des Automobiles postales).

Nous déduisons, pour le moment, de ces références, que « l'amortissement du capital » ou d'un poste du passif ne constitue pas un barbarisme même dans le langage fiscal. Nous expliquerons plus loin, comme il suffit de le comprendre.

B) M. l'inspecteur de V... a dit : « Le comble de l'erreur coupable est de porter un amortissement pour les obligations. D'abord les obligations constituent un poste du passif et, par cette porte, on revient à l'observation précédente. Mais, en plus, l'obligation est amortie, par ce seul fait que l'on fait rentrer chaque année dans les frais généraux, la somme nécessaire pour payer en plus de l'intérêt de tout emprunt, le remboursement d'un certain nombre de titres favorisés par la roue du tirage. Par conséquent, constituer un amortissement de ce chef, c'est le type de la réserve déguisée : c'est indiscutable. »

El cependant, nous nous rapportons à deux décisions de la Commission supérieure, N° 10663 et 10665 du 11 juin 1921 qui n'ont encore été publiées dans aucun recueil, mais nous garantissons l'exactitude de ce qui suit :

Une société qui avait évalué son bénéfice normal au moyen du forfait du 6 pour 100 des capitaux engagés avait constitué dans le bilan des exercices soumis à la taxe, un poste intitulé « amortissement des obligations » et n'avait fait aucun autre amortissement. L'Administration avait impitoyablement rayé l'amortissement des obligations, pour les motifs et principes « d'écritures »

que nous avons indiqués ci-dessus. Mais elle avait fouillé les bilans des trois années de base, cherché la moyenne des amortissements qu'avait pu faire dans le cours de ces trois années la société, et accepté cette moyenne, plus faible que le chiffre de l'amortissement des obligations, comme unique déduction dans l'exercice assujéti. La Commission supérieure a examiné le bilan dudit exercice et, sans faire d'allusion à la moyenne des années de base, se fondant exclusivement sur la valeur des immobilisations, a ainsi libellé sa décision : « Considérant que la Société d'Eclairage demande que les amortissements qu'elle a effectués pendant les périodes d'imposition de 1914-1915 et de 1916, soient admis en déduction ; considérant que, si une partie des sommes versées au fond d'amortissement a été employée au remboursement des obligations, ces sommes ne dépassent pas cependant, dans leur ensemble, le chiffre d'amortissement que la société était en droit de déduire eu égard à l'importance de ses immobilisations ; que, dans ces circonstances, il convient d'admettre en déduction pour le calcul de l'impôt, les amortissements effectués par la société requérante. »

Déjà, dans une espèce célèbre, la Commission supérieure, le 28 décembre 1917, avait eu à statuer dans un cas analogue (Recueil des décisions de la Commission supérieure, onzième cahier n° 271). Une société avait acheté une chute d'eau et une usine hydroélectrique, en 1911, moyennant le prix de 1 300 000 fr, le tout grevé de créances hypothécaires pour une somme de 1 208 300 fr ; elle avait porté, pour son prix d'achat, à son actif, tout le montant de la vente et chaque année avait inscrit à son passif un poste intitulé : *provision pour remboursement de créances*. On connaît l'effet de mirage que produit aux agents du fisc le mot « provision ». Ils effacèrent donc d'un trait de plume tout l'amortissement qui se montait à 74 500 fr ; la Commission supérieure a approuvé ce geste, pour l'unique motif que, dans le passif, on trouvait inscrite la dette hypothécaire : elle ne pouvait donc figurer une fois comme valeur réelle et une autre fois comme provision. De ce chef, la Commission avait incontestablement raison.

Mais la seconde partie de sa décision n'en est que plus intéressante : elle remarque que ne figure, à aucun poste du bilan, l'amortissement normal et régulier pour usure et dépréciation des installations immobilières. Et considérant que, pour la chute estimée 1 300 000 fr, le chiffre de 74 500 fr pouvait être largement accepté comme amortissement ordinaire, elle a déduit du bénéfice considéré ledit chiffre, et, en définitive, validé la déclaration de la contribuable (1).

(1) Il ne faut pas s'étonner de cette décision ; elle est conforme à la jurisprudence extrêmement bien raisonnée de la Commission supérieure. Si le contribuable prend le bénéfice forfaitaire, c'est absolument son droit ; mais il renonce, dès lors, quelquefois à son préjudice, à faire valoir des usages qu'il avait adoptés pendant le cours des trois années de base. On se demande pour quel motif l'Administration viendrait fouiller dans son passé et extraire, d'une moyenne de trois années que le contribuable a le droit d'oublier lui-même, des

Nous pourrions multiplier les exemples ; ce serait, à notre avis, complètement inutile ; il est préférable de conclure que, s'il est une science « où le chiffre tue et l'esprit vivifie », c'est bien la comptabilité. On ne doit jamais attacher aux nombres, aux rubriques et aux emplacements donnés dans le bilan à certains postes, une importance qui ne serait pas justifiée par une explication raisonnable.

II. — Il est temps de rechercher les principes d'après lesquels on distinguera un amortissement réel, sincère, méthodique, d'un amortissement simulé. Je crois que l'on doit pouvoir y arriver facilement, sans adopter une attitude par trop professorale.

Il n'est pas inutile de remonter à la définition même du mot « amortissement », à son étymologie essentiellement latine (*ad mortem*), à son sens courant dans le domaine des choses physiques. Quand une pierre tombe sur la tête d'un homme, il est souhaitable qu'un obstacle se trouve au bon endroit pour adoucir et, si possible, supprimer, anéantir, « amortir » le choc reçu ; or, l'organisme d'une société, comme l'organisme humain, reçoit ses chocs : pour l'homme, ils sont de diverse nature. Il y a d'abord l'usure qui se produit chaque année, même quotidiennement, par le fait que nous nous rapprochons de l'âge auquel le cerveau ne produira plus, et notre activité ne réagira plus à l'appel de notre volonté. C'est le choc, toujours existant, puisqu'il est le fait inéluctable du temps, bien qu'il soit à peine perceptible dans la jeunesse, beaucoup plus dans l'âge mûr et vraiment trop tangible à un âge... certain. Il est d'autres chocs, heureusement moins fréquents, mais plus graves. Un accident, une maladie sérieuse, un traumatisme violent, physique ou moral, nous rejettent dans un état d'infériorité qui exige un chômage absolu et des soins dispendieux si l'on veut reconstituer l'ancienne activité. Prenez l'organisme d'une société industrielle, jetez un coup d'œil sur son actif. Les bâtiments même entretenus subissent le poids des années : le gros matériel s'use beaucoup

usages qui ne riment à rien. Sans doute, si le contribuable admet, comme loi de son bénéfice normal, les usages antérieurs, la Commission entendra s'y tenir autant que possible. C'est ainsi que, dans la décision du 8 octobre 1920. (*Rev. des Impôts*, août-septembre 1921, art. 782), elle n'attribue à une flotte qu'un amortissement de 5 pour 100 parce que la moyenne ne lui donnait pas droit à un chiffre supérieur. En effet, s'il en était différemment le parallélisme entre le bénéfice normal et le bénéfice de l'exercice impossible serait faussé, mais il n'y a rien à craindre avec le bénéfice normal évalué forfaitement. De plus, si l'on se rend compte de l'idée qui a présidé au forfait du bénéfice, c'est, comme l'a fait très bien remarquer la Commission supérieure elle-même, dans la décision du 6 août 1920 « que le bénéfice normal évalué à forfait, doit être considéré comme établi en comprenant dans les dépenses un amortissement suffisant. » C'est pourquoi, elle n'hésite pas à dire également, dans cette décision, que la déduction demandée à ce titre sur le bénéfice impossible représente l'amortissement normal du matériel du taux de 10 pour 100 et doit être allouée à la société, et qu'il y a lieu, par conséquent, de diminuer de ce pourcentage, le bénéfice de la société. (*Revue des Impôts*, janvier 1921, n° 655.)

plus vite encore, le petit matériel disparaît... pour la société tout au moins, si ce n'est pour tout le monde. Au-dessus de toutes ces misères, il y a la question de mode, la loi inéluctable du progrès qui tait tomber peu à peu dans le domaine des antiquités inutiles, des choses encore bonnes en elles-mêmes, par le seul fait que le concurrent en a établi de meilleures, d'un rendement plus avantageux, mieux situés, diminuant l'emploi de la main-d'œuvre.

C'est le « choc » annuel, mieux que cela : quotidien, car vivre, c'est mourir tous les jours un peu.

Mais qu'une explosion arrive, qu'un bâtiment s'effondre, que la montagne descende et, avec elle la canalisation qui en barrait le flanc, le choc est autrement plus dur dans la vie de la société que le petit ébranlement quotidien et il demande une réparation immédiate, sans cela c'est l'arrêt de la vie industrielle. Passer, en un seul exercice, les frais de la réfection, ce serait un rêve irréalisable, à moins d'avoir une trésorerie formidable ; et cela aboutirait à ouvrir un compte de « perte » que l'on traînerait pendant plusieurs années, compromettrait le fonds même de l'affaire, car une société qui est condamnée à ne donner aucun revenu, pendant longtemps, n'a plus de crédit.

Ces quelques considérations de la vie d'une société nous amènent à ce principe bien précis : tout amortissement méritera ce nom s'il est la réparation d'un choc réel.

A). Parlons d'abord du choc quotidien dû à l'usure, à la dépréciation, en un mot, au fait du temps.

Il faut le réparer, comme il se produit, d'une manière permanente ; et pour corriger la dépréciation qui se perpétue, il faut par une écriture *continue*, soit diminuer à l'actif la valeur initiale, soit inscrire au passif un chiffre de compensation ; c'est le coefficient d'amortissement qui varie d'après la nature des objets.

S'il est au monde une administration irrecevable à se dire ignorante de cette pratique, c'est celle des Contributions directes, *puisque elle l'impose* et l'a toujours imposée *en sa faveur*, dans l'établissement de l'impôt qu'elle connaît le mieux. Quand on a suivi avec elle l'établissement d'une feuille de patente et la méthode employée pour arriver à déterminer la valeur locative servant de base au droit proportionnel, on sait qu'en conformité de la jurisprudence du Conseil d'Etat, il faut recourir à la valeur d'achat, la diminuer d'un quart pour arriver à la valeur vénale et prendre un *taux convenable*, d'après lequel, si l'immeuble industriel était donné à bail, avec tous ses moyens de production, le propriétaire calculerait son loyer, en tenant compte à la fois de l'usure des bâtiments et du matériel, car il ne récupérerait (même en obligeant le locataire à faire l'entretien) qu'un immeuble en état de vétusté plus grande et, par conséquent, de dépréciation plus avancée.

Peut-on changer de tactique en disant que la société propriétaire n'a pas à tenir compte de ce fait vis-à-vis d'elle-même pour la durée de son existence.

Le taux perpétuellement choisi est de 8 ou 10 pour

100 pour le matériel; (on est même allé beaucoup plus loin pour un matériel essentiellement périssable, comme le four électrique), et 5 pour 100 pour les constructions; ce taux forfaitaire devra donc être employé.

Il importe peu que, d'après la méthode en usage dans la société considérée, le comptable écrive la diminution forfaitaire dans la colonne de gauche en la soustrayant de la valeur initiale, ou qu'il l'inscrive au passif à un fonds d'amortissement. Le premier système est plus commode pour suivre la marche de la société, à la condition toutefois, que l'on porte, chaque année, la valeur initiale plus les augmentations de cette valeur provenant, comme le dit très exactement le langage moderne de la comptabilité, des « augmentations de substance », et que l'on indique dans le bilan les diminutions faites antérieurement et celles de l'année; les agents du fisc n'ont alors aucun raisonnement à faire pour vérifier la conformité de l'écriture aux usages légaux; mais l'autre méthode comprenant l'inscription de l'amortissement au passif ne vicie pas le résultat; elle impose plus de recherches et est par conséquent moins conforme à la tendance si connue aujourd'hui sous le nom du « moindre effort ». Mais, quelle que soit la méthode antérieurement employée, l'examen de la cause de l'inscription démontrera, dans chaque exercice, le bien-fondé de l'écriture qui est toujours faite pour constater une diminution de valeur, qu'elle soit portée à la colonne de gauche, par soustraction, ou à la colonne de droite, par addition, suivant les habitudes de la société.

B) Passons maintenant au choc anormal, à celui qui, provenant de l'accident, nécessite un prêt à court terme, une avance chez le banquier, faute de pouvoir faire mieux.... C'est un moyen de fortune, ou plutôt d'infortune qui est fait, en réalité, pour pallier une perte. Dirait-on que, si l'on *amortit ce prêt en trois ou quatre années* sur les *bénéfices de ces trois ou quatre années*, on dissimule par un amortissement déguisé l'emploi d'un *bénéfice*? Et cependant à prendre la matérialité de l'écriture, j'ai amorti un poste du passif..., et si les thèses visées ci-dessus étaient vraies, je ne serais qu'un imposteur.

C) Mais il y a plus; parmi les sociétés dont l'actif comprend des postes défertibles (c'est-à-dire devant être remis intégralement dans un délai déterminé, 40 ans pour les installations électriques dépendant de la loi de 1906, 75 ans à partir de la date néfaste du 16 octobre 1919 pour les chutes d'eau), l'amortissement *doit* (nous ne disons pas qu'il « peut ») aller jusqu'au capital engagé dans l'entreprise. Sans doute, les éléments de l'actif qui, normalement, c'est-à-dire par leur essence périssable, doivent être amortis plus rapidement, devront être soumis au coefficient déterminé par leur nature; mais, même le terrain qui ne s'use pas, ni ne diminue de prix, même la servitude d'aqueduc payée à prix d'or, mais qui ne change point, doit être amortie dans le délai de la concession.

Et cela est vrai, soit que l'on ait demandé au capital de premier établissement (voir Quesnot, p. 302) les res-

sources nécessaires, soit qu'on les ait puisées dans un emprunt obligataire; le même auteur dit en termes très mesurés (p. 330), dont chaque mot semble avoir été pesé: « il faut distinguer, avant tout, entre la nature des exploitations qui peuvent être de deux catégories radicalement opposées, suivant la nature de l'actif qui les compose ». Ou bien, cet actif sera pour l'entreprise une propriété indéfectible non sujette à périr. Ou bien, au contraire, l'actif sera périssable; c'est-à-dire qu'il peut se composer de biens appartenant en propre à la société, mais périssables en eux-mêmes; il peut consister encore en biens permanents sur lesquels elle peut n'avoir acquis que des droits temporaires d'usage ou de jouissance. Il en résulte que seules les exploitations en actif *indéfectible* se constituent des réserves équivalentes au moment de leurs emprunts en remboursant leurs prêteurs par prélèvement sur leurs bénéfices. Mais toute entreprise à domaine périssable est dans le cas contraire: peu importe qu'elle conserve temporairement les immobilisations qu'elle se sera constituées au moyen de ses emprunts, puisque ces immobilisations n'ont qu'une valeur précaire et sont destinées à s'évanouir pour elle. Le compte « obligations amorties » n'implique plus l'existence d'une réserve. Il subsiste seulement, comme témoin d'une imputation du remboursement sur bénéfices; ce sacrifice de bénéfices étant obligé, l'exploitant n'en tire aucun enrichissement. »

III. — Si j'osais, maintenant, m'adresser aux sociétés, je n'hésiterais pas à dire que, si elles ont si souvent des conflits avec le fisc, c'est parce qu'elles ont conservé l'habitude (qui n'offrait aucun inconvénient à l'époque ou non seulement l'impôt sur les bénéfices de guerre, mais encore l'impôt cédulaire sur le bénéfice était inconnu) de ne pas employer dans leurs bilans, dans leurs rapports aux assemblées générales, même dans ceux des commissaires aux comptes, une terminologie suffisamment exacte et rigoureuse. Une fois le compte de profits et pertes obtenu, le calcul de ce qu'il est prudent de donner aux actionnaires comme résultat de l'exercice considéré étant établi, la partie non distribuée est répertoriée sous les noms les plus divers. Amortissement, provision, réserve, apparaissent facilement comme synonymes, puisqu'ils désignent dans l'esprit de celui qui les emploie la partie du bénéfice qui échappe à la main de l'actionnaire. Nous réitérons ce que nous avons dit plus haut: si l'on ne pratique pas ce qui a été très justement dénommé la « philosophie » de la partie non distribuée, on arrive à des résultats d'appréciation fantastiques; par conséquent, le raisonnement s'impose; mais il est ingrat, souvent pénible, toujours dispendieux, puisqu'il entraîne une perte de temps.

On arriverait à un résultat plus rapide si l'on s'entendait sur le vrai sens des mots.

L'amortissement *doit* se définir: l'affectation d'un gain à la réparation, exacte ou forfaitaire, d'une perte consommée; et cette définition est vraie dans tous les

cas (Quesnot, p. 355) : dire qu'il est l'affectation d'un gain, c'est dire qu'il est un prélèvement sur un bénéfice; dire qu'il répare une perte consommée, c'est empêcher toute confusion avec la réserve qui est affectée aux prévisions d'une perte qui serait susceptible de se produire dans le cours des exercices postérieurs; à ce titre, la réserve est une garantie contre les mauvaises chances imprévues, un supplément de bonheur venant s'ajouter éventuellement aux bonnes chances non moins imprévues. La provision est bien voisine de la réserve, en ce sens que, comme elle, elle est nécessairement révélée dans le bilan, par un compte créditeur, mais elle désigne, plus spécialement, la constitution d'une masse devant trouver un emploi déterminé dans un travail prévu pour une époque peu lointaine. Nous retiendrons que l'exactitude de la définition ci-dessus donnée de l'amortissement se révèle en pleine vérité, dans toutes les hypothèses.

S'il est effectué annuellement à un taux forfaitaire arrêté d'avance pour tenir compte de la diminution, lente mais réelle, provenant de l'usure, il est bien issu d'une perte consommée, perte de valeur subie par l'actif pendant l'exercice en cours; si on l'opère, pour rembourser par fractions annuelles, un emprunt contracté à la suite d'un accident, il ne fait que compenser le moyen pris pour réparer la perte, dès le jour où elle a paru.

Enfin, s'il est fait pour récupérer, en cas d'actif défectueux, une part du capital employé dans ledit actif, il répare la perte subie par cet actif au fur et à mesure qu'il se rapproche de la date finale à laquelle, tout entier, il doit revenir à l'autorité concédante.

Paul BOUGAULT,

Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Jugement du Tribunal de Paix de Carmaux concernant le droit des syndicats professionnels de représenter leurs adhérents.

Ce jugement, en date du 2 décembre 1921 et signalé dans la « Gazette du Palais » du 11 février 1922, est intéressant à mentionner parce qu'il est un des premiers, semble-t-il, qui fasse application de la loi du 25 mars 1919, relative aux conventions collectives de travail.

La Société anonyme des Mines de Carmaux ayant annoncé une réduction des salaires de son personnel, le Syndicat des Ouvriers mineurs et similaires de Carmaux, agissant au nom et pour le compte de ses membres, assigna ladite société devant le juge de paix, afin de faire prononcer la nullité de la décision en cause comme ayant été prise en violation d'une convention collective qui stipulait qu'aucune modification ne pourrait être apportée au contrat de travail par l'une des parties sans un préavis de six mois.

Deux questions se posaient : 1° le syndicat avait-il capacité pour agir ? 2° la convention collective visée pouvait-elle être invoquée utilement ?

1° Le droit du syndicat paraît incontestable. Aux termes de l'article 5 de la loi du 21 mars 1884, modifié par la loi du 12 mars 1920, tout syndicat professionnel jouit de la capacité civile et a le droit d'ester en justice, soit pour son propre compte, soit pour la défense des intérêts collectifs de la profession. D'autre part, l'article 31 V du livre premier du Code du Travail, qui déroge à la maxime courante que nul en France ne peut plaider par procureur, autorise les syndicats à exercer, en faveur de chacun de leurs membres, toutes les actions qui naissent de la convention collective. Il s'ensuit qu'ils ne sont point tenus, pour agir valablement, de justifier d'un mandat spécial des intéressés, ni de mentionner leurs noms dans l'instance. Le juge de paix de Carmaux a donc bien jugé en déclarant recevable l'action introduite par le Syndicat des Ouvriers mineurs, la procédure suivie par eux étant conforme aux prescriptions de la loi.

2° L'article 31 C du livre premier du Code du Travail

stipule que, pour être opposable, une convention collective doit être soumise à une certaine publicité manifestée par son dépôt au secrétariat du Conseil des Prud'hommes ou au greffe de la Justice de paix. Toutefois, ajoute l'article 3 de la loi du 25 mars 1919, ne sont point soumises à cette obligation les conventions antérieures à la promulgation de ladite loi : mais il faut, pour que cette exonération s'applique, que la convention dont il s'agit ait été observée par les parties dans son intégrité, sans interruption ni modification importante survenue depuis le 25 mars 1919, car, alors, on se trouverait en présence d'un contrat nouveau, soumis nécessairement à toutes les exigences de la loi. Or, en l'espèce, la convention collective était basée sur un accord remontant à 1892, modifié en décembre 1918 et au commencement de mars 1919 : elle se trouverait donc bien antérieure à la loi du 25 mars et, en principe, parfaitement opposable à la Société des Mines de Carmaux. Mais une difficulté particulière se présentait, que n'a point vue le juge de paix et qui, semble-t-il, vicia le jugement rendu par lui.

Nous venons de voir quelles sont les conditions nécessaires pour que la convention puisse bénéficier des exceptions prévues à l'article 3 de la loi du 25 mars 1919. Or, en 1919 et en 1920, des grèves interrompirent le travail aux mines de Carmaux. Par ailleurs, la Cour de Cassation admet que la grève entraîne la rupture du contrat de travail. Ce n'est donc pas la convention collective ancienne que le syndicat pouvait invoquer, mais seulement une convention nouvelle datant de la dernière reprise du travail et celle-ci, étant postérieure à la loi du 25 mars 1919, se trouvait soumise à toutes les conditions de forme imposées par ce texte.

Arrêt de la Cour de Cassation concernant le taux du change dans les règlements de comptes.

En principe, lorsque des sommes dues sont portées à un compte courant régulier, le change relatif à ces sommes doit être calculé au jour de l'inscription. Toutefois, cette règle n'a rien d'absolu et elle peut être valablement modi-

fiée par la convention des parties ; notamment celles-ci peuvent décider que le change sera apprécié au jour de règlement du compte. C'est ce qui fut jugé par la Cour d'Appel de Lyon dans un arrêt du 17 juin 1920 ; et la Chambre des Requêtes de la Cour de Cassation vient, dans son audience du 27 décembre 1921, de rejeter le pourvoi qui avait été formé contre ledit arrêt.

Jugement du Tribunal de la Seine concernant la nature de la monnaie et le taux du change dans les règlements de comptes.

Egalement en matière de paiement de sommes et de change, un jugement de la première Chambre du Tribunal Civil de la Seine, en date du 24 janvier 1922, a décidé que le règlement d'une dette en argent, sauf intention contraire des parties expressément manifestée, doit être effectuée en monnaies ayant cours à l'endroit désigné pour l'exécution et calculée au taux du jour de ladite exécution.

Jugement du Tribunal de Commerce de la Seine concernant la résiliation d'un contrat d'avant guerre de fourniture d'énergie électrique.

Ce jugement a été rendu par la quatrième Chambre du Tribunal de la Seine dans son audience du 23 novembre 1921.

Par acte sous seing privé en date du 30 avril 1908, la Société Gaz et Eaux s'était engagée à fournir à la Compagnie des Tramways de Cherbourg, pendant une durée de 20 années, à des conditions déterminées, l'énergie électrique nécessaire à l'exploitation de son réseau. De plus, la Compagnie des Tramways devait payer à la Société Gaz et Eaux, à partir de la mise en vigueur du traité, une somme fixe annuelle représentant l'amortissement des installations faites et de l'outillage fourni. Survint la guerre et ses conséquences économiques. En vertu de la loi du 21 janvier 1918, la Société Gaz et Eaux demanda la résolution de son contrat à partir du 1^{er} juillet 1915 et qu'il lui fût allouée, à titre d'indemnité, une somme représentant les annuités d'amortissement que cette résolution l'empêcherait de toucher. Reconventionnellement la Compagnie des Tramways, réclamait le maintien du contrat à des conditions nouvelles fixées par expert.

Statuant sur les trois points de droit qui lui étaient soumis, le Tribunal de Commerce de la Seine a fait une application très exacte des dispositions de la loi du 21 janvier 1918, qui autorise la résolution de certains contrats commerciaux d'avant-guerre devenus, par suite des circonstances, particulièrement onéreux pour l'une des parties.

1^o Le Tribunal, reconnaissant que les majorations du prix de toutes les matières premières et la hausse des salaires ont entraîné pour la Société Gaz et Eaux des charges qui dépassent de beaucoup les prévisions ayant pu raisonnablement être faites à l'époque du contrat, résilie ledit contrat ; mais seulement à partir du jour de la demande et non point du 1^{er} juillet 1915 comme le requérait la demanderesse. En effet, il ne s'agit point ici de la résolution habituelle des contrats prévue par le code, mais d'une résolution exceptionnelle, déterminée expressément par une loi spéciale. Or, il résulte des termes même de cette loi et des travaux préparatoires qui l'ont précédée, que c'est proprement et unique-

ment la résiliation de certains marchés et contrats que le législateur a voulu autoriser et qu'il a seulement permis au juge d'envisager les faits au jour de la demande.

2^o C'est à tort que la Compagnie des Tramways voulait obtenir le maintien du contrat à des conditions différentes. L'article 2 de la loi du 21 janvier permet seulement au juge de résilier le contrat ou d'en suspendre l'exécution pendant un délai qu'il détermine, mais c'est aux parties seules qu'il appartient, conformément au droit commun, de modifier d'accord les clauses de toute convention intervenue entre elles.

3^o Enfin la Société Gaz et Eaux demandait qu'il lui soit attribué, à titre d'indemnité, une certaine somme représentant l'équivalent des annuités que la résolution du contrat l'empêcherait de toucher. Le Tribunal a fait droit à cette demande et il a alloué, à ladite société, une autre somme à fixer par expert en compensation du dommage à elle causé par les refus réitérés de la Compagnie des Tramways de reviser un contrat dont l'exécution entraînait depuis longtemps des charges beaucoup plus lourdes que celles qui avaient pu être prévues.

Cette décision, ajoute la « Gazette du Palais » du 7 mars 1922, doit être pleinement approuvée. La loi, il est vrai, dit seulement que la résiliation peut être prononcée avec dommages-intérêts, sans préciser si ces derniers peuvent être accordés aussi bien au débiteur qu'au créancier (art. 2, § 2). Mais l'affirmative est établie par les travaux préparatoires. A droit à indemnité celle des parties qui a subi un préjudice certain. M. Failliot, rapporteur de la Commission de la Chambre, et le Comité de Législation civile se sont nettement prononcés en ce sens.

Sur l'application de l'impôt global sur le revenu.

Le « Journal officiel » du 15 mars 1922 publie, page 794 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse suivantes :

12 308. — M. Vandame, député, demande à M. le ministre des Finances, si un industriel des régions libérées, qui employait dans son industrie des capitaux prêtés dont il n'a pu, du fait même de l'invasion d'une part, et de sa mobilisation, d'autre part, servir les intérêts aux prêteurs pendant la période d'inactivité de son usine, est autorisé à déduire, dans sa déclaration d'impôt global sur le revenu pour les années 1919 et 1920, les sommes représentant les intérêts pendant les années 1915, 1916, 1917, 1918 et 1919. (Question du 7 février 1922.)

Réponse. — Les sommes qu'un chef d'exploitation affecte, au cours d'une année déterminée, au paiement des intérêts des capitaux empruntés par lui et engagés dans son entreprise, sont susceptibles de venir en déduction du bénéfice net de ladite entreprise pendant l'année envisagée alors même qu'elles s'appliqueraient au paiement d'intérêts dus au titre d'années antérieures. Le bénéfice professionnel constituant un des éléments du revenu global, ce revenu se trouve dès lors diminué du montant des intérêts acquittés par l'intéressé et celui-ci n'a pas à en faire état une seconde fois pour l'établissement de sa déclaration relative à l'impôt général sur le revenu. Si toutefois la déduction pratiquée pour la détermination du bénéfice net de l'entreprise faisait apparaître un déficit d'exploitation, le contribuable pourrait valablement retrancher la perte résultant de ce déficit de l'ensemble de ses revenus.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 15.

15 AVRIL 1922.

Chronique. — Les Conférences-rapports sur la physique. — Société française des Electriciens. — Le physicien A. Einstein au Collège de France, p. 521-522.

Section scientifique et technique. — Le diagramme du groupe moteur asynchrone-moteur à collecteur en cascade, par Richard LANGLOIS, p. 523. — Revues, analyses et informations : Revision de quelques lois de l'électromagnétisme, p. 532; Température-couleur et éclat de diverses sources lumineuses, p. 534; Electroscopie à charge automatique, p. 534.

Section industrielle. — Les applications du moteur Diesel, dans la marine de commerce et leurs conséquences au point de vue de l'industrie électrique, par Yves LE GALLOU, p. 535. — Revues, analyses et informations : Tensions de service maxima admissibles dans les câbles (*suite et fin*), p. 543; Le système Alexanderson pour les communications radiotélégraphiques à grande distance, p. 547; Détérioration des câbles par les courants vagabonds, p. 550; Propriétés et caractéristiques des matériaux isolants, p. 553.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société des Forces motrices de la Vienne, p. 555; Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris, p. 557; Electricité et Gaz du Nord, p. 558.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation. — Au sujet de la proposition de loi Néron concernant les distributions d'énergie électrique, p. 559.

AVIS. — Messieurs les actionnaires de la « Revue générale de l'Electricité » sont convoqués en Assemblée générale ordinaire annuelle, conformément à l'article 30 des statuts, pour le samedi 13 mai 1922, à 11 heures, au siège social, 12, place de Laborde, à Paris.

L'assemblée générale se compose de tous les actionnaires quel que soit le nombre des actions possédées par eux.

Tout actionnaire, pour avoir le droit d'assister ou de se faire représenter à l'Assemblée générale, doit être inscrit sur les registres de la Société seize jours au moins avant celui fixé pour la réunion.

Les Conférences-rapports sur la physique : séance du 4 avril 1922. — Dans cette troisième et dernière conférence sur « La lampe à trois électrodes », M. C. Gutton a décrit et étudié les applications de la lampe à la télégraphie et à la téléphonie sans fil.

Il a expliqué tout d'abord le mécanisme d'un détecteur : tout conducteur qui ne suit pas la loi d'Ohm est susceptible de redresser partiellement un courant périodique, et le courant ainsi « détecté » peut être considéré comme la superposition d'un courant alternatif de haute fréquence et d'un courant continu. Si l'amplitude du courant de haute fréquence éprouve des variations de fréquence acoustique, une membrane téléphonique donne des vibrations de même fréquence que les variations.

La lampe à trois électrodes constitue un détecteur parce que ses caractéristiques sont courbes ; elle constitue un excellent détecteur : 1^o parce que, fonctionnant comme relais, elle emprunte l'énergie nécessaire à son fonctionnement non pas à l'antenne réceptrice, mais à la pile locale du relais (d'où une plus grande acuité de résonance et une plus facile séparation des signaux émis par des postes différents) ; 2^o parce qu'elle permet l'amplification à haute fréquence et à basse fréquence.

Après avoir rappelé les divers montages de la lampe comme détecteur et le principe de l'emploi des ondes entretenues,

M. Gutton a étudié la réception par hétérodyne, grâce à laquelle la hauteur des sons entendus est réglée par le récepteur lui-même, la séparation des signaux est plus efficace que dans la réception par résonance et l'audition des parasites rendue moins gênante par un choix convenable de l'acuité des signaux à recevoir.

Passant à l'emploi de la lampe comme générateur d'ondes, M. Gutton a montré la possibilité du réglage de la stabilité des ondes entretenues au voisinage de la limite de stabilité, d'où résulte une extrême sensibilité des oscillations à la moindre influence.

Un résumé fort intéressant des applications militaires de la téléphonie et de la télégraphie sans fil a illustré les principes exposés. M. Gutton a terminé sa conférence en énumérant les applications déjà faites de la lampe à trois électrodes aux appareils de mesures électriques par M. H. Abraham, à la chronographie par MM. H. Abraham et R. Planiol et en indiquant la possibilité d'applications nouvelles aux recherches de laboratoire par la substitution de la lampe à l'arc chantant. — J. R.

Société française des Electriciens. — Séance du 5 avril 1922. — La séance du 5 avril 1922 comprenait deux parties : la première réservée à l'assemblée générale annuelle, la seconde à la réunion mensuelle.

La première partie fut consacrée à la lecture des différents rapports sur l'état financier et l'activité scientifique de la société au cours de l'exercice 1921-1922.

Après le compte rendu du trésorier, M. Maurice Leblanc fils résuma les travaux faits par les Commissions de la Société française des Electriciens et, en particulier, par la deuxième Commission (éclairage) qui s'est montrée la plus active; il rappela également les communications qui ont été faites au cours de l'année.

M. Janet prit ensuite la parole pour faire le rapport annuel sur les travaux du Laboratoire central d'Electricité et sur l'Ecole supérieure d'Electricité.

La situation du laboratoire est redevenue normale, le personnel est à son effectif d'avant-guerre qui semble ne devoir pas être suffisant encore pour assurer tous les travaux à exécuter. Le matériel s'est très sensiblement amélioré du fait de la Société et grâce à la générosité de certains industriels. L'année qui vient de s'écouler a été caractérisée, en ce qui concerne le laboratoire, par une augmentation marquée des essais exécutés sur les matières premières entrant dans la composition des machines et appareils électriques.

L'Ecole supérieure d'Electricité, de son côté, a vu sa situation devenir de plus en plus brillante; le matériel de laboratoire, de la plate-forme d'essais de machines, de l'atelier, a été complété. Dans l'enseignement, quelques modifications ont été opérées; M. Boucherot a limité ses conférences à des questions d'ensemble sur les machines et appareils à courants alternatifs, le calcul de ces machines étant fait maintenant par M. H. de Pistoye. D'autre part, M. le docteur Broca a pris la succession de M. Debieuvre pour faire les conférences sur la radioactivité et les décharges dans les gaz.

La 28^e promotion (1921-1922), actuellement à l'Ecole, comprend 240 élèves, dont 54 seulement reçus au concours; les autres possèdent déjà un diplôme d'ingénieur ou équivalent et sont venus se spécialiser. La promotion possède une élève femme. Les locaux de l'Ecole étant insuffisants, les cours et conférences ont lieu dans l'amphithéâtre de l'Institut Pasteur.

Les relations de l'Ecole et de l'Université sont devenues de plus en plus étroites; la chaire d'électrotechnique générale est définitivement créée; 43 élèves ont suivi ce cours et 16 ont obtenu le certificat.

La section de radiotélégraphie a repris son activité et délivre maintenant un diplôme d'ingénieur radiotélégraphiste.

M. Janet signala les manifestations de la Société amicale des Ingénieurs diplômés de l'Ecole supérieure d'Electricité et, en particulier, les bourses d'études qu'elle offre aux jeunes camarades dans le besoin.

Enfin M. Janet parla des agrandissements futurs de l'Ecole et de son établissement dans de nouveaux bâtiments modernes et spacieux.

La parole fut ensuite donnée à M. J. BETHENOD pour sa communication : « Théorie de la dynamo à trois balais ».

Après avoir rappelé la communication faite par M. Iglésis dans une séance précédente, M. Bethenod établit la théorie de la dynamo à trois balais par une méthode analogue à la méthode de M. A. Blondel, dite méthode des deux réactions, pour l'étude de la chute de tension des alternateurs. Cette

méthode a le grand avantage de permettre la prévision de tous les phénomènes que l'on constate expérimentalement.

Il est utile de rappeler que la dynamo à trois balais est employée presque exclusivement pour l'équipement électrique des automobiles; elle ne possède ses propriétés particulières qu'à la condition de débiter sur un circuit possédant une force contre-électromotrice, en l'espèce, ici, une batterie d'accumulateurs.

Les équations établies par M. Bethenod permettent de prévoir le phénomène de la décroissance du débit de la dynamo à trois balais sur la batterie d'accumulateurs à partir d'une certaine vitesse de rotation, laquelle est sensiblement indépendante du calage du balai auxiliaire.

M. Bethenod termina sa communication en montrant que les équations de la dynamo à trois balais sont identiques à celles d'une machine possédant un enroulement série démagnétisant et à celles d'un système composé de la manière suivante: une génératrice à courant continu accouplée mécaniquement à son excitatrice, cette dernière ayant son enroulement inducteur parcouru par le courant débité par la machine principale.

A la suite de cette conférence, M. Iglésis prit la parole pour montrer les avantages de la dynamo à trois balais pour l'éclairage des trains, avantages qui sont dus à la décroissance du débit quand la vitesse augmente; il signala également l'application de la dynamo à trois balais à l'équipement électrique des avions.

La fin de la séance fut consacrée à la proclamation des résultats du vote pour le renouvellement partiel du Bureau et du Comité d'Administration de la Société française des Electriciens.

M. Jean Rey, président sortant, transmit ensuite son fauteuil présidentiel à M. Marcel Brillouin élu président pour l'exercice 1922-1923. — H. C.

Le physicien A. Einstein au Collège de France.

— Quoique strictement limité au domaine purement physique de la théorie universelle de relativité, le programme des conférences dialoguées du physicien Einstein n'a pas pu être entièrement rempli: le nombre des questions posées était considérable et le nombre des séances minime. C'est avec la plus grande et la plus aimable simplicité que M. Einstein a répondu à ses interlocuteurs. Ainsi que le laissait prévoir la conférence inaugurale, les paradoxes, quelque peu troublants, auxquels semblaient conduire les concepts fondamentaux de la nouvelle théorie, étaient dus à une application incorrecte de calculs galiléens à des domaines non-euclidiens de l'espace-temps.

La discussion approfondie de la formule de la gravitation a donné lieu à des remarques du plus haut intérêt.

M. de Donder, professeur à l'Université de Bruxelles, a résumé ses recherches sur la gravifique einsteinienne. M. P. Langevin a dit quelques mots de son enseignement de la nouvelle mécanique au Collège de France; M. Einstein, en soulignant l'importance de généralisations obtenues dans cette voie, a invité M. Langevin à publier ses travaux, anciens et récents.

L'affluence des auditeurs témoigne de l'intérêt que porte aux conceptions nouvelles l'élite des penseurs de notre pays.

J. R.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Le diagramme du groupe moteur asynchrone moteur à collecteur en cascade

L'auteur se propose d'analyser algébriquement le fonctionnement du groupe moteur asynchrone-moteur à collecteur en cascade. Ce groupe moteur présente un grand intérêt pratique: il a été appliqué à la commande des laminoirs par courant triphasé et au relèvement du facteur de puissance des moteurs asynchrones à l'aide d'une excitatrice à collecteur.

I. Introduction. — Le groupe en cascade asynchrone-collecteur procède de l'excitatrice de M. Maurice Leblanc (brevet n° 329 154 du 6 février 1903). Dans ce brevet, M. Maurice Leblanc indiquait le moyen de relever le facteur de puissance d'un moteur asynchrone à l'aide d'une excitatrice à collecteur sans bobinage sur le stator. Il indiquait, en outre, l'emploi de cette machine avec enroulement-série sur le stator comme excitatrice de glissement.

Le groupe que nous nous proposons d'analyser est une amélioration de ce système ⁽¹⁾ par l'emploi de différents dispositifs, qui ont pour but principalement :

- 1° De régler la vitesse à vide par le moyen d'une inductance dérivée aux balais ;
- 2° De maintenir un facteur de puissance élevé aux différents régimes par le moyen d'un double jeu de balais.

II. Considérations générales. — 1. COMPOSITION DU GROUPE. — Le groupe se compose :

1° D'un moteur asynchrone principal. Le rotor, à trois phases séparées, doit être regardé comme hexaphasé ; les extrémités des enroulements aboutissent à six bagues ;

2° D'un moteur-série à collecteur. Son stator est un stator de moteur asynchrone, dont les trois phases sont séparées. Le rotor est un induit à collecteur comportant six lignes de balais fixes, deux à deux diamétrales, décalées de 60° les unes par rapport aux autres, et constituant un enroulement polygonal hexaphasé. Les balais peuvent être décalés dans leur ensemble d'un angle α par rapport au stator ;

3° Comme organe auxiliaire le groupe peut comporter une inductance triphasée réglable.

Les deux machines, que représente la figure 1, sont en liaison électrique et mécanique ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Brevet de MM. Perret et Ots, n° 109 250, du 26 janvier 1921.

⁽²⁾ Ce groupe, construit par les ateliers de Jeumont, pris en commande le 1^{er} octobre 1919, a été mis en service le 19 février 1921 aux laminoirs d'une importante société métallurgique de la région du Nord.

La liaison électrique est schématisée en figure 2 ; le stator asynchrone est alimenté par le réseau. Chaque phase du rotor asynchrone alimente le circuit composé d'une phase du stator à collecteur mise en série avec deux balais diamétraux. La self-induction auxiliaire est montée en dérivation sur ces balais.

La liaison entre stator et rotor à collecteur peut encore se faire par l'intermédiaire d'un transformateur

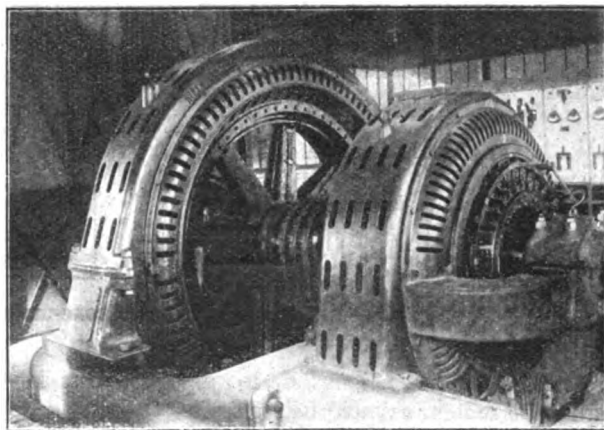


Fig. 1. — Vue d'un groupe moteur asynchrone-moteur à collecteur.

de phases, dont le primaire est en série avec le stator à collecteur, le secondaire alimentant le rotor qui peut comporter 6, 9 ou 12 phases.

La liaison mécanique est la suivante : les deux rotors sont montés sur un même arbre. Une variante consiste à séparer les deux machines, le moteur asynchrone attaquant seul l'arbre à entraîner et le moteur à collecteur étant accouplé à un petit moteur asynchrone auxiliaire (cascade indirecte). D'autres cas peuvent se présenter : pour relever le facteur de puissance d'un groupe de deux moteurs asynchrones en cascade, on peut mettre en cascade, avec le second rotor asynchrone, un moteur à collecteur (double cascade).

2. RELATION DES GLISSEMENTS. — Les machines, étant toutes deux asynchrones, ont chacune un glissement propre. Nous utiliserons les notations suivantes :

N , vitesse en tours par minute ;
 g , glissement du moteur asynchrone ;
 N_s , synchronisme du moteur asynchrone ;
 $2 p_a$, nombre de pôles du moteur asynchrone ;
 g_c et $2 p_c$ sont le glissement et le nombre de pôles du moteur à collecteur.

Nous supposons le réseau à 50 p. s et nous prendrons g comme variable indépendante. On a les relations

$$g = \frac{60 \times 50 - p_a N}{60 \times 50}, \quad g_c = \frac{60 \times 50 g - p_c N}{60 \times 50 g};$$

d'où

$$g_c = 1 + a_1 - \frac{a_1}{g} \quad \text{avec} \quad a_1 = \frac{p_c}{p_a}. \quad (1)$$

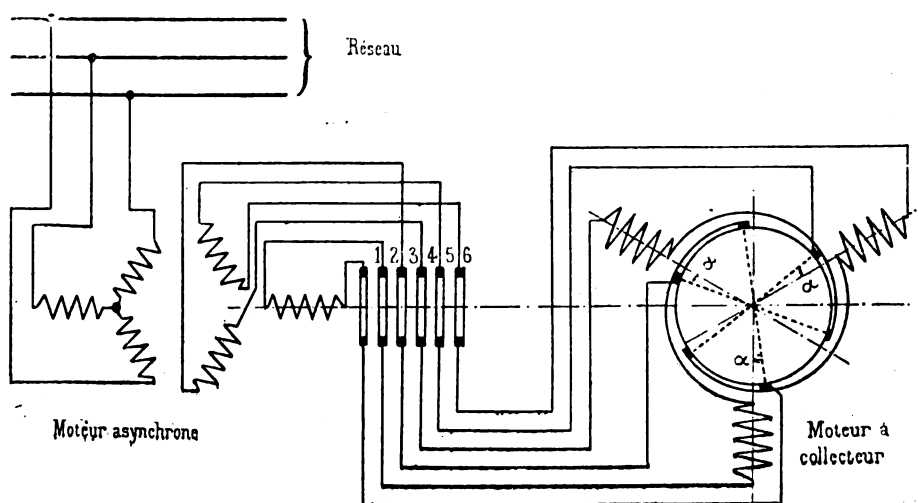


Fig. 2. — Groupe moteur asynchrone-moteur à collecteur en cascade (liaison électrique).

E étant la tension de ligne ; K_1 , le rapport de transformation du moteur asynchrone.

Il faut donc regarder le moteur asynchrone comme un transformateur alimentant le moteur à collecteur à une tension et à une fréquence proportionnelles au glissement. Dans ces conditions, le synchronisme du moteur à collecteur a lieu pour $g_c = 0$, c'est-à-dire pour

$$g = \frac{a_1}{1 + a_1}$$

à la vitesse

$$N'_s = \frac{N_s}{1 + a_1};$$

on voit que g_c est négatif entre les vitesses N_s et N'_s et passe de $-\infty$ à 0 dans cet intervalle.

Dans le cas de la cascade indirecte, on a

$$N'_s = N_s (1 - a_2).$$

Dans le cas de la cascade indirecte, N_0 étant la vitesse du moteur asynchrone auxiliaire, on a

$$g_c = 1 - \frac{a_2}{g}, \quad \text{avec} \quad a_2 = \frac{N_0 p_c}{60 \times 50};$$

c'est une relation de même forme que (1)

Dans le cas de la double cascade, on trouve aisément

$$g_c = \frac{g(p_a + p'_a + p_c) - (p'_a + p_c)}{g(p_a + p'_a) - p'_a},$$

$2 p'_a$ étant le nombre de pôles du second moteur asynchrone.

3. CONDITIONS D'ALIMENTATION DU MOTEUR À COLLECTEUR. — Le moteur à collecteur est alimenté à la fréquence 50 g et à la tension U du rotor asynchrone :

$$U = \frac{E}{K_1} g,$$

Dans le cas de la double cascade, le moteur à collecteur est alimenté à la tension

$$U = \frac{E}{K_1 K_2} g g_c,$$

K_2 étant le rapport de transformation du second moteur asynchrone ; et

$$N'_s = N_s \frac{p_a}{p_a + p'_a + p_c}.$$

4. CONDITIONS DU FONCTIONNEMENT DU MOTEUR ASYNCHRONE.

— La tension U entre deux bagues correspondant à une même phase du rotor asynchrone et le courant I dans cette phase varient avec la vitesse. Le moteur à collecteur est assimilable à une impédance dynamique $Z = \frac{U}{I}$. En introduisant les composantes de cette impé-

dance dans les équations du moteur asynchrone, nous aurons l'équation du groupe.

5. ÉQUATIONS DES MACHINES. — Nous allons d'abord considérer les machines composantes, alimentées à tension et fréquence constantes.

Nous considérerons les machines comme définies par leurs coefficients d'induction totaux polyphasés; et nous écrirons les équations de Kirchhoff sous forme imaginaire. Les tensions aux bornes des différents segments s'exprimeront en fonction linéaire et homogène des courants; les coefficients seront les résistances et réactances de self-induction des segments, et les réactances de mutuelle induction.

Les pulsations seront toutes exprimées à l'aide de la variable indépendante g .

Il suffira de résoudre ce système d'équations linéaires pour exprimer le courant pris par le moteur au réseau sous la forme d'une fraction rationnelle à coefficients quelconques (réels ou imaginaires) de la variable réelle g . On pourra substituer, s'il y a lieu, à la variable I

la variable $Z = \frac{E}{I}$ qui est l'impédance dynamique équivalente à la machine. Le diagramme de fonctionnement est le lieu de l'extrémité d'un des vecteurs I ou Z quand g varie.

Cette méthode se prête d'une façon remarquablement simple à l'analyse algébrique des machines et groupes de machines asynchrones, à condition de se baser sur des propositions purement algébriques qui ont été développées par M. Ots dans un travail systématique (*R. G. E.*, 6 et 13 mars 1920, t. VII, pages 315 et 347). Nous allons énoncer sous forme abstraite les propositions très simples qui nous seront utiles.

6. REMARQUES ALGÈBRIQUES. — Soit $f(g)$ une fonction entière ou une fraction rationnelle en g , à coefficients réels ou imaginaires. Le lieu de l'extrémité du vecteur $U = f(g)$ est :

Une droite, si

$$U = a_0 + a_1 g, \quad (2)$$

$$U = \frac{a_0 + a_1 g}{1 - a g}, \quad (3)$$

a_0 et a_1 étant quelconques, a étant réel;

Une circonférence, si

$$I = \frac{a_0 + a_1 g}{b_0 + b_1 g}, \quad (4)$$

a_0, a_1, b_0, b_1 étant quelconques, mais le dénominateur n'ayant pas de racine réelle, car on serait alors ramené à la forme (3).

Il suffira de connaître les valeurs de I pour deux ou trois valeurs particulières de g , pour tracer la droite ou la circonférence cherchée.

On se propose de trouver par une construction simple la valeur de g en un point donné du lieu.

Premier cas. — Droite (2) (fig. 3.); pour $g = 0$ et $g = 1$, on a les points M_0 et M_1 ; pour g quelconque, on a le point M et

$$g = \frac{M_0 M}{M_0 M_1}.$$

Deuxième cas. — Droite (3) (fig. 4); on construira

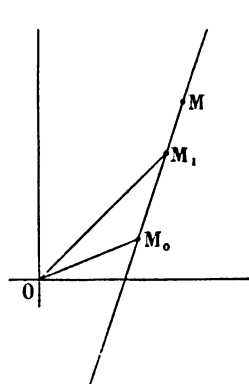


Fig. 3.

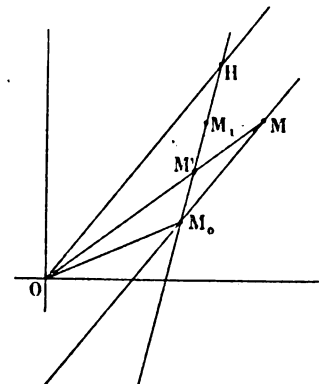


Fig. 4.

la droite auxiliaire $U' = a_0 + a_1 g$ qui est déterminée par M_0 et M_1 . Les droites U et U' se coupent en M_0 .

Pour une valeur donnée de g , U et U' ont même direction, leur rapport étant réel. Pour

$$g = \frac{1}{a}, \quad \text{on a } U' = OH;$$

donc

$$\frac{1}{a} = \frac{M_0 H}{M_0 M_1}.$$

Le lieu cherché, passant par M_0 et étant infini dans la

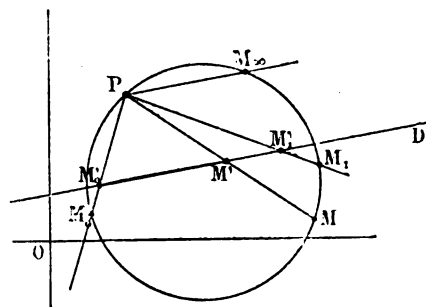


Fig. 5.

direction OH, est une droite passant par M_0 parallèle à OH. La valeur de g au point M est

$$g = \frac{M_0 M}{M_0 M_1}.$$

La droite auxiliaire U' est dite droite échelle.

3^e cas. — Circonférence (4) (fig. 5). La circonférence

est déterminée par les points M_0 , M_1 , M_x . On démontre le théorème suivant :

Si on choisit arbitrairement un point P sur la circonférence, il existe une direction Δ du plan telle que, si D est une droite quelconque parallèle à cette direction, la valeur de g en un point quelconque M de la circonférence est

$$g = \frac{M_0 M'}{M'_0 M'_1},$$

M'_0 , M'_1 et M'_x étant les points d'intersection avec D des droites joignant P à M_0 , M et M_1 . La droite D est dite droite-échelle.

Par exemple, si on connaît le point M_x , il résulte du théorème précédent que la direction Δ est PM_x , car, en joignant P à M_x , on doit tomber à l'infini sur l'échelle. En particulier, si P coïncide avec M_0 , la direction Δ est la tangente en M_0 .

Pour terminer ces préliminaires, nous indiquerons une construction, facile à vérifier, d'un vecteur dont la forme reviendra souvent par la suite :

$$\bar{Z} = \bar{Z}_0 + \frac{a}{a' + j a''},$$

a , a' , a'' étant réels et \bar{Z}_0 étant un vecteur donné (fig. 6). Construire le vecteur $\bar{Z}_0 = OB$; par B mener une demi-

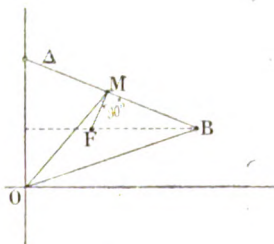


Fig. 6.

droite Δ de direction $a' - j a''$; porter sur cette direction le vecteur $-j \frac{a}{a''} = BF$; de F abaisser la perpendiculaire FM sur Δ ; elle coupe Δ au point M cherché, extrémité du vecteur \bar{Z} .

III. Propriétés du moteur série à collecteur.

I. MOTEUR SÉRIE ALIMENTÉ À TENSION ET FRÉQUENCE CONSTANTES (fig. 7). — Nous supposons l'alimentation hexaphasée; soit E la tension diamétrale appliquée.

Le moteur est défini par ses coefficients d'induction polyphasés

$$a L_1, \quad a M = \frac{a L_1}{\beta^2 p_1}, \quad a L_2 = \frac{a M p_2}{\beta}, \quad (5)$$

p_1 et p_2 étant les coefficients de fuite; a , la pulsation

d'alimentation et β , le rapport de transformation, rapport de la force contre électromotrice du stator à la tension diamétrale induite dans le rotor par le champ tournant statorique.

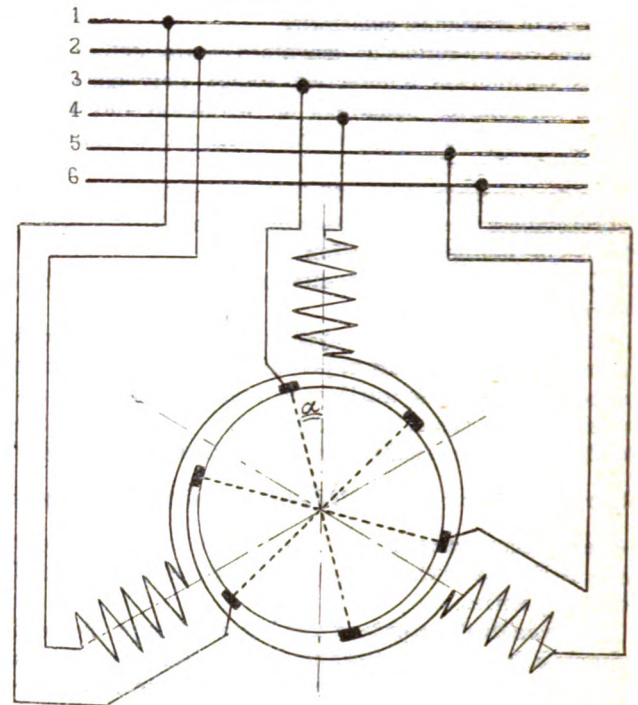


Fig. 7. — Moteur à collecteur.

β est inférieur à l'unité, car il y a plus de spires sur le rotor que sur le stator.

Les équations sont

$$\left. \begin{aligned} \bar{E}_1 &= (R_1 + j a L_1 - K j a M) I \\ \bar{E}_2 &= \left(R_2 + j a g_c L_2 - \frac{1}{K} j a g_c M \right) I \\ \bar{E} &= \bar{E}_1 + \bar{E}_2; \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

l'indice 1 se rapportant au stator et l'indice 2 au rotor; \bar{E}_2 est la tension diamétrale au rotor. Ces équations tiennent compte du décalage des balais par le coefficient $K = \cos \alpha + j \sin \alpha$.

D'où

$$\bar{Z} = \frac{\bar{E}}{I} = j \left[a L_1 - K a M + g_c \left(a L_2 - \frac{1}{K} a M \right) \right], \quad (7)$$

en négligeant les résistances ohmiques devant les réactances.

Le diagramme d'impédance étant de la forme (2) est rectiligne (fig. 7 bis).

Soit ox l'axe réel; oy , l'axe imaginaire.

$$OA = j a L_1, \quad AB = -j a M \times K,$$

K étant un opérateur qui fait tourner le vecteur auquel on l'applique d'un angle α .

$$\begin{aligned} BC &= jaL_2, \\ CD &= -\frac{jaM}{K}; \end{aligned}$$

au point B, on a $g_c = 0$ (synchronisme); au point D, $g_c = 1$ (démarrage).

D'où

$$g = \frac{BM}{BD}.$$

Si l'on pose

$$\bar{Z} = aX + jaY,$$

en identifiant avec (7), il vient

$$\left. \begin{aligned} aX &= aM(1 - g_c) \sin \alpha \\ aY &= aL_1 + g_c aL_2 - aM(1 + g_c) \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Si $\alpha = 0$ (balais calés à la ligne neutre), aX est nul

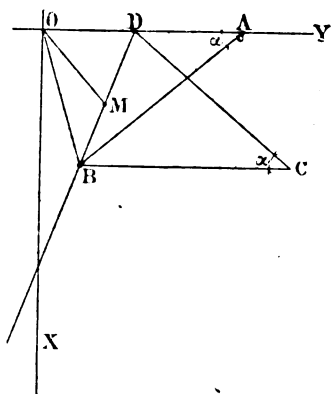


Fig. 7 bis.

quelle que soit la vitesse : le moteur équivaut à une pure réactance.

La réactance aY a le signe de g_c . En effet, on peut écrire

$$aY = aL_1 - aM \cos \alpha + g_c(aL_2 - aM \cos \alpha).$$

Le moteur à collecteur est dimensionné de telle sorte que $aM \cos \alpha$ est très voisin de aL_1 pour les angles de calage utiles et aL_2 est toujours plus grand que aM ; aY a donc bien le signe de g_c . Un moteur à collecteur tournant au-dessus du synchronisme équivaut à une réactance négative.

Sur ce diagramme, on peut représenter les tensions : multiplions par I les différentes lignes du diagramme. D'après les relations (6), le vecteur OB représente E_1 et le vecteur OM représente \bar{E} . Donc BM représente \bar{E}_2 : on voit, par le triangle OBM des tensions, comment la

tension totale se répartit entre stator et rotor. Les équations (6) donnent

$$\begin{aligned} E_1 &= E \frac{aL_1 - KaM}{aL_1 - KaM + g_c \left(aL_2 - \frac{aM}{K} \right)}, \\ E_2 &= E g_c \frac{aL_2 - \frac{aM}{K}}{aL_1 - KaM + g_c \left(aL_2 - \frac{aM}{K} \right)}. \end{aligned}$$

Les diagrammes de E_1 et E_2 en fonction de g_c sont donc des circonférences. Pour des glissements négatifs, le triangle des tensions s'aplatit et l'on a sensiblement en valeur algébrique

$$E = E_1 + E_2. \quad (9)$$

En négligeant les fuites ($p_1 = p_2 = 1$), on a

$$\frac{OA}{AB} = \frac{BC}{CD} = \beta;$$

les triangles OAB et BCD sont semblables :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{BM}{BO} = g_c, \quad \frac{BD}{BO} = \frac{g_c}{\beta},$$

β étant voisin de 1, on a, pour les glissements négatifs, la relation approchée

$$\frac{E_2}{E_1} = -g_c. \quad (10)$$

D'où, en résolvant (9) et (10)

$$E_2 = E \frac{g_c}{g_c - 1}, \quad E_1 = E \frac{1}{1 - g_c}. \quad (11)$$

Dans le cas où le rotor est alimenté par l'intermédiaire d'un transformateur dont le primaire est en série avec le stator, il faut remplacer dans (5) β par $\frac{\beta}{\delta}$, δ étant le rapport de transformation du transformateur et, dans les formules (9), (10) et (11), E_2 par δE_2 ; le vecteur BM représente δE_2 .

2. MOTEUR SÉRIE ALIMENTÉ PAR LE ROTOR ASYNCHRONÉ. — La pulsation d'alimentation étant ag il vient

$$\bar{Z} = agX + jaY.$$

Les équations (11) donnent, en tenant compte de (1) et remplaçant E par $\frac{E}{K_1} g$,

$$E_1 = \frac{E}{K_1} \frac{g^2}{a_1(1 - g)}, \quad E_2 = \frac{E}{K_1} g \frac{a_1 - (1 + a_1)g}{a_1(1 - g)}. \quad (12)$$

E_2 passe par un maximum pour

$$g = 1 \pm \frac{1}{\sqrt{1 + a_1}};$$

es glissements à considérer étant négatifs, il faut prendre le signe —.

La vitesse correspondante est

$$\frac{N_s}{\sqrt{1 + a_1}},$$

et la valeur maximum de E_2 est

$$\frac{a_1}{2 + a_1 + 2\sqrt{1 + a_1}} \frac{E}{K_1}.$$

Dans le cas de la cascade indirecte, on a

$$E_2 = \frac{E}{K_1} g \left(1 - \frac{g}{a_2} \right),$$

E_2 est maximum pour $g = \frac{a_2}{2}$ à la vitesse $N_s \left(1 - \frac{a_2}{2} \right)$ et ce maximum est égal à

$$\frac{E_1}{K} \frac{a_2}{4}.$$

Remarque. — Dans le cas du groupe en cascade ordinaire, agX peut s'écrire sous la forme

$$agX = 2\pi M p_c \sin \alpha \frac{N}{60};$$

la résistance dynamique est proportionnelle à la vitesse.

Dans le cas de la cascade indirecte

$$agX = 2\pi M p_c \sin \alpha \frac{N_0}{60};$$

la résistance dynamique est constante.

3. MOTEUR-SÉRIE AVEC INDUCTANCE DÉRIVÉE, ALIMENTÉ A TENSION ET FRÉQUENCE CONSTANTES (fig. 8). — Soit L_d l'inductance dérivée; I_d , le courant dans cette inductance. Les équations sont

$$\left. \begin{aligned} \bar{E}_1 &= (R_1 + j a L_1) I - K j a M (I - I_d), \\ \bar{E}_2 &= (R_2 + j a g L_2) (I - I_d) - \frac{1}{K} j a g M I, \\ \bar{E}_2 &= j a L_d I_d, \\ \bar{E} &= \bar{E}_1 + \bar{E}_2. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

D'où, en négligeant les résistances devant les réactances,

$$\bar{Z} = \frac{\bar{E}}{I} = j \frac{a L_1 - K a M g_c \left[a L_2 + \sigma a L_1 \frac{a L_2}{a L_d} - \frac{a M}{K} \right]}{1 + g_c \frac{a L_2}{a L_d}}, \quad (14)$$

σ étant le coefficient de dispersion. Le terme en σ est négligeable si $a L_d$ est du même ordre que $a L_2$; il ne l'est plus si $a L_d$ est petit par rapport à $a L_2$.

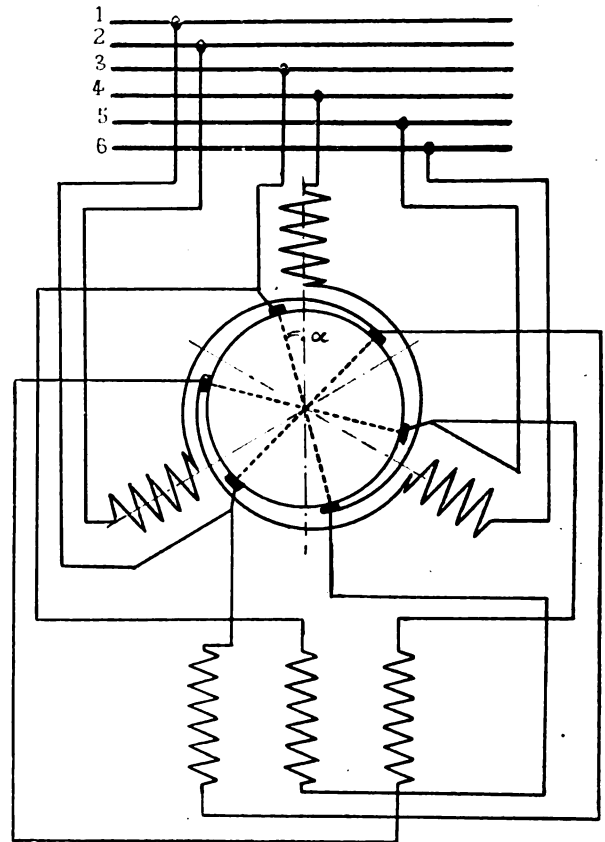


Fig. 8. — Moteur à collecteur avec inductance dérivée.

Le diagramme d'impédance étant de la forme (3) est rectiligne (fig. 9).

Pour le tracer, à partir du diagramme du moteur

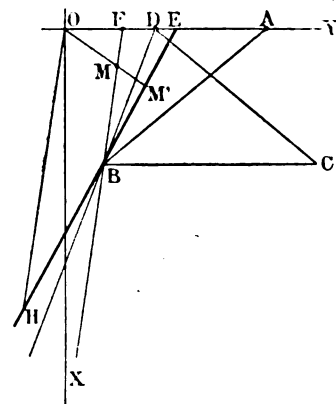


Fig. 9.

série simple, on construit la droite numérateur qui passe par B et coupe l'axe OY au point E tel

Ce vecteur se trace aisément par la construction qui a été donnée. Il suffit de mener par M_0 une droite faisant avec la direction négative de l'axe OY un angle α tel que

$$\lg \alpha = \frac{R_2}{a \mathcal{E}_2};$$

cette droite coupe la circonférence en M_1 .

De ce diagramme, on déduit le diagramme du courant : les vecteurs $OI_0 = I_0$, $OI_1 = I_1$ et $OI_\infty = I_\infty$ ont même direction que \bar{Z}_0 , \bar{Z}_1 , \bar{Z}_∞ ; leur grandeur s'obtient en divisant E par le module de \bar{Z} . Ce diagramme est une circonférence, l'inverse d'une circonférence étant une autre circonférence. L'échelle des glissements est une parallèle à la tangente en I_∞ limitée à ses points d'intersection avec $I_\infty I_0$ et $I_\infty I_1$.

V. Equations du groupe en cascade. — Le groupe en cascade est un moteur asynchrone dans le rotor duquel on a intercalé une impédance dynamique

$$\bar{Z} = agX + jagY,$$

aX et aY étant donnés par les formules (8) ou (16) selon qu'il y a ou non une self-induction dérivée.

La seconde équation (19) s'écrit alors

$$0 = R_2 + agX + jag(\mathcal{E}_2 + Y) I_2 + jag\Re I$$

et (20) devient

$$\bar{Z} = ja\mathcal{E}_1 + \frac{a^2\Re^2}{\frac{R_2}{g} + aX + j(a\mathcal{E}_2 + aY)}; \quad (21)$$

cette équation, combinée avec (8) ou (16) et (1), nous donne le diagramme d'impédance du groupe. On voit que la fonction était du type (4) : le diagramme est circulaire, quand il n'y a pas de self-induction dérivée. Le diagramme est également circulaire dans le cas de la cascade indirecte (fig. 10). Le dénominateur est dans les deux cas linéaire en $\frac{1}{g}$.

Quand il y a une self-induction dérivée, le dénominateur est du second degré en $\frac{1}{g}$; il n'est plus circulaire. On pourra le tracer par points. Mais, pour des glissements de l'ordre de dix pour cent, le terme $\frac{R_2}{g}$ peut être négligé devant ceux qui le suivent : le diagramme reste alors circulaire. Nous limiterons notre étude à ce cas. Il résulte de ce qui précède que, pour

$$1 + g_c \frac{aL_2}{aL_d} = 0,$$

le rotor du moteur asynchrone doit être regardé comme fermé sur une impédance infinie : il n'y passe donc

aucun courant et le moteur asynchrone tourne à vide. L'inductance à intercaler pour avoir une vitesse à vide N_p est

$$L_d = L_2 \left(a_1 \frac{N_p}{N_s - N_p} - 1 \right); \quad (22)$$

un tel régime à vide ne peut être réalisé qu'entre les vitesses N_s et N_s' , car nous avons vu que c'est seulement dans cet intervalle que le glissement du moteur à collecteur est négatif.

1. ANGLE DE CALAGE OPTIMUM. — Soit I_2 le courant pris au réseau pour une valeur donnée de la charge. Nous nous imposons la condition d'avoir $\cos \varphi = 1$ pour ce régime. Pour exprimer analytiquement cette condition, il faut écrire que dans (21) la partie imaginaire de \bar{Z} est nulle et la partie réelle, égale à $\frac{E}{I_2}$, pour les valeurs aX_2 et aY_2 de aX et aY qui correspondent à la charge considérée. Soient g_2 et g_c les glissements au régime envisagé,

Identifions (21) avec

$$Z = \frac{E}{I_2} + 0j;$$

Il vient

$$\left. \begin{aligned} aX_2 &= \frac{E}{I_2} \frac{a^2\Re^2}{\left(\frac{E}{I_2}\right)^2 + (a\mathcal{E}_1)^2} - \frac{R_2}{g}, \\ aY_2 &= a\mathcal{E}_1 \frac{a^2\Re^2}{\left(\frac{E}{I_2}\right)^2 + (a\mathcal{E}_1)^2} - a\mathcal{E}_2. \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

(On remarquera que aY_2 est négatif). On pourra négliger $\frac{R_2}{g}$ s'il y a une inductance dérivée. En égalant ces valeurs à (8) ou (16) selon le cas et en exprimant les coefficients d'induction du moteur à collecteur en fonction de β (formules 5), on obtiendra deux équations qui lient les trois grandeurs : glissement en charge, calage, rapport de transformation.

En se donnant une de ces grandeurs, les équations (23) permettent de déterminer les deux autres. On se donnera en général g_2 , car la condition imposée dans les applications est d'avoir un glissement donné au point de fonctionnement pour lequel on désire que le facteur de puissance passe par l'unité. β est alors donné par une équation bicarrée.

Ainsi, dans le cas d'une inductance dérivée limitant la vitesse à vide à la valeur correspondant au glissement g_{ec} , on a, en négligeant les fuites et posant $\frac{1}{\beta} = x$, les relations

$$aM = aL_1x,$$

$$aL_2 = aL_1x^2,$$

$$aL_d = -g_{ec}aL_1x^2;$$

d'où

$$\left. \begin{aligned} x \sin \alpha &= \frac{a X_2}{(1 - g_{c2}) a L_1} \frac{g_{vc} - g_{c2}}{g_{vc}} \\ g_{c2} x^2 - (1 - g_{c2}) x \cos \alpha &= \frac{a Y_2}{a L_1} \frac{g_{vc} - g_{c2}}{g_{vc}} - 1, \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

$a X_2$ et $a Y_2$ ayant les expressions (23).

Dans le cas où l'on veut à l'aide de plusieurs valeurs de l'inductance dérivée réaliser différents régimes à vide avec $\cos \varphi = 1$ en charge normale pour chacun des régimes, on ne peut y arriver avec une valeur unique de β . La solution élégante du problème consiste à utiliser deux jeux de balais qui peuvent être décalés indépendamment (fig. 11). Les balais correspondant à

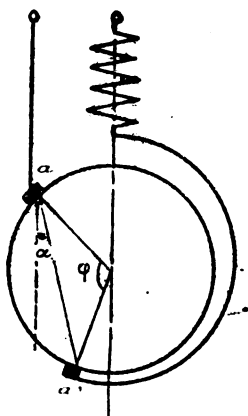


Fig. 11. — Schéma pour une phase du double jeu de balais.

une même phase ne sont plus diamétraux : les angles α et φ repèrent leur position.

Posons

$$\frac{\text{corde } aa'}{\text{diamètre}} = x \sin \frac{\varphi}{2}.$$

Le nouveau rapport de transformation est

$$\beta' = \frac{\beta \text{ diamétral}}{x};$$

en modifiant x , on change donc le rapport d'une façon continue.

2. TRACÉ DU DIAGRAMME CIRCULAIRE POUR UN ANGLE DE CALAGE DONNÉ (fig. 12). — Les points caractéristiques du diagramme sont le point à vide, le point au démarrage et le point Z_∞ .

Point à vide. — À vide sans inductance dérivée, $g = 0$, $g_c = -\infty$; $a X$ et $a Y$ sont infinis et (21) donne

$$Z_0 = j a \mathcal{E}_1.$$

Avec inductance dérivée $g = g_v$; g_c reste fini, mais

$a X$ et $a Y$ ayant des dénominateurs nuls sont infinis. Donc

$$\bar{Z}_0 = j a \mathcal{E}_1.$$

Remarque. — Il est utile de connaître, pour le tracé ultérieur de l'échelle des glissements, le point Z_0 dans le

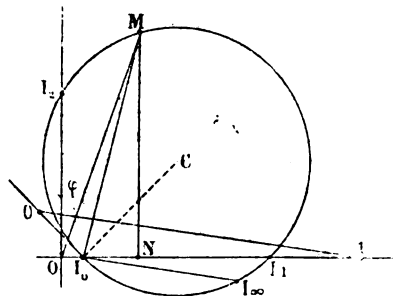


Fig. 12.

cas d'une inductance dérivée. Pour $g = 0$, $g_c = -\infty$, les équations (16) donnent

$$a X_0 = a M \sin \alpha g_{vc},$$

$$a Y_0 = \left(-a L_2 + \sigma \frac{a L_1}{g_{vc}} + a M \cos^2 \alpha \right) g_{vc},$$

qu'il suffira de porter dans (21); on achèvera de déterminer Z_0 par la construction connue.

Point de démarrage. — Au démarrage $g = g_c = 1$

$$\text{sans inductance} \begin{cases} a X_1 = 0, \\ a Y_1 = a L_1 + a L_2 - 2 a M \cos \alpha, \end{cases}$$

$$\text{avec inductance} \begin{cases} a X_1 = 0, \\ a Y_1 = \frac{a L_1 + a L_2 - \sigma \frac{a L_1}{g_{vc}} - 2 a M \cos \alpha}{1 - \frac{1}{g_{vc}}}; \end{cases}$$

l'impédance du groupe est sensiblement, dans les deux cas,

$$\bar{Z}_1 = j \left(a \mathcal{E}_1 - \frac{a^2 \mathcal{M}^2}{a \mathcal{E}_2 + a Y_1} \right).$$

Point Z_∞ . — Pour $g = \infty$, on a $g_c = 1 + a_1$. D'où $a X_\infty$ et $a Y_\infty$ que l'on calculera.

À titre de vérification, on pourra encore construire le point $g_c = 0$ pour lequel

$$a X = a M \sin \alpha,$$

$$a Y = a L_1 - a M \cos \alpha.$$

Le diagramme du groupe en cascade est ainsi complètement déterminé; l'échelle des glissements sera tracée en appliquant la méthode générale donnée. On suit aisément la variation du courant (vecteur OM) du

déphasage (angle φ) et de la puissance absorbée (distance MN) en fonction du glissement. Le couple est proportionnel au segment MN.

Le diagramme de la figure 12 représente à l'échelle un des régimes de fonctionnement du groupe en cascade de la figure 1, la droite O_1 étant appelée droite échelle.

Le point I_2 correspond à la charge maximum (2 000 ch).

On voit que le facteur de puissance s'élève rapidement avec la charge ; à quart de charge, il atteint déjà l'unité. Entre quart de charge et la charge maximum, il est compris entre 0,95 et 1 en avant : le groupe fournit au réseau la puissance dévattée qui compense les petits moteurs des services auxiliaires du laminoir.

Le glissement entre la marche à vide et la marche en charge est donné par le point d'intersection de la droite OI_2 avec l'échelle : il est de l'ordre de 10 pour 100.

Le rapport du couple de décrochage au couple correspondant à la charge maximum est élevé, ce qui assure une marche stable.

Ces caractéristiques, prédéterminées par le calcul, se sont vérifiées aux essais.

VI. Conclusion. — L'analyse précédente présente cet intérêt qu'elle est l'application d'une méthode générale.

Après avoir fixé son choix sur un schéma particulier

pour réaliser une caractéristique d'allure déterminée l'ingénieur doit recourir au calcul pour dimensionner de la façon la plus avantageuse les circuits électriques et magnétiques. Mais les équations des circuits peuvent s'écrire de différentes manières ; il est utile d'avoir à sa disposition une méthode générale s'appliquant à toutes les machines asynchrones à bagues et à collecteur.

Il y a lieu de remarquer, toutefois, que les difficultés de réalisation, au point de vue électrique, de la machine que nous avons en vue dans cette étude, ne résident pas uniquement dans un dimensionnement convenable des circuits. On sait que les amorçages en courant continu et les difficultés de commutation ont enrayé dans les différents pays le développement des machines à collecteur pour le réglage de la vitesse en courant alternatif. Dans le cas particulier actuel, ces écueils ont été évités par l'application de différents dispositifs dus à M. Perret (enroulement imbriqué-ondulé, pas fractionnaires au stator et au rotor du moteur à collecteur) qui font de cette machine, reposant par ailleurs sur des principes individuellement connus, un ensemble original.

Richard LANGLOIS,

Ingénieur E. S. E.

aux Ateliers de Constructions électriques de Jeumont (Nord).

Revue, analyses et informations

Revision

de quelques lois de l'électromagnétisme ⁽¹⁾.

ATTRACTION DE COURANTS PARALLÈLES ET DE MÊME SENS. — L'énoncé de cette loi n'est pas correct. Il en résulterait d'abord que la densité de courant serait plus grande suivant l'axe du conducteur qu'à sa périphérie, par suite des attractions mutuelles des courants élémentaires. Or, cette densité non uniforme n'est pas observée. Par exemple, lorsque deux électrodes planes, parallèles et égales sont en face l'une de l'autre dans une cuve électrolytique dont la section a la même forme que les électrodes, le dépôt métallique qui se produit sur la cathode n'est pas plus dense au centre que sur les bords. On observe même plutôt le contraire : les rayons cathodiques se repoussent. Ainsi, lorsqu'il n'y a pas de conducteurs, les courants parallèles et de même sens se repoussent, au lieu de s'attirer.

Ainsi, la loi correctement énoncée doit mentionner qu'il s'agit de forces attractives ou répulsives entre la *substance* de conducteurs parcourus par des courants, et non entre ces courants eux-mêmes. Le plus souvent, cette distinction est sans conséquence, mais il est des cas où son importance est fondamentale et une loi n'est universelle, c'est-à-dire vraiment une loi, que si elle comprend tous les cas possibles.

Ces forces entre conducteurs traversés par des courants

s'expliquent comme dues à l'action du flux magnétique qui les entoure, mais on devrait noter que ce flux agit principalement sur le conducteur, et non seulement sur les courants. Si le flux agissait principalement ou uniquement sur les courants, il en résulterait que, dans le cas de deux circuits parallèles très voisins traversés par des courants constants, la densité de courant serait plus grande dans les parties les plus voisines des deux conducteurs, ce qui n'est pas le cas, si l'on néglige l'effet Hall, qui est très petit par rapport à ce qu'on pourrait attendre d'après les lois de l'électromagnétisme.

L'EFFET DE PINCEMENT. — L'auteur avait pensé que l'on pourrait maintenir fondu un métal, comme le fer, dans une rainure horizontale ouverte vers le haut, en y faisant simplement passer un courant assez intense. Or, lorsqu'on fait l'expérience, on observe un phénomène fort différent. Pour une certaine valeur bien déterminée du courant, le liquide conducteur se contracte en un point (le point de section droite minima) en formant une dépression en V, jusqu'à rupture du circuit. Tout se passe comme si une pince invisible avait sectionné le métal, d'où le nom d'*effet de pincement* donné par l'auteur à ce phénomène.

On peut expliquer cet effet, soit en disant que la contraction radiale due au flux qui l'entoure presse le liquide conducteur au point de le séparer ; ou que les conducteurs élémentaires s'attirent mutuellement comme étant parcourus par des courants parallèles et de même sens, ce qui produit

⁽¹⁾ Carl HERING, *Journal of the Franklin Institute*, novembre 1921, t. CXCII, p. 599-622, 10 000 mots, 13 fig.

le même effet. Et ceci montre que c'est bien la *matière* du conducteur, et non le courant lui-même, qui est soumise à l'action de la force.

Il faut ajouter que cette contraction est accompagnée d'un mouvement notable du liquide dans la direction de l'axe.

LOI D'INDUCTION DE MAXWELL. — Cette loi bien connue et universellement adoptée sert de base au calcul de tous les générateurs électriques usuels, de tous les moteurs et transformateurs ; elle est considérée comme la loi fondamentale de l'induction et on pourrait penser qu'elle est universelle, c'est-à-dire sans exception.

C'est pourquoi l'auteur s'était fié à cette loi, pour concevoir un nouvel appareil d'induction qui aurait eu de très remarquables propriétés ; mais avant d'établir celui-ci, il pensa préférable de contrôler d'abord la loi de Maxwell par une expérience cruciale simple. Cet essai montra que tout ou partie du flux traversant un circuit électrique fermé pouvait très bien être eulvé (ou inversement) sans induire la moindre force électromotrice.

Les figures 1 et 2 montrent en effet que, lorsque l'on crée dans le circuit L, à la manière ordinaire (fig. 1) un flux magnétique, on a le courant pré vu, mais que, si l'on crée ou

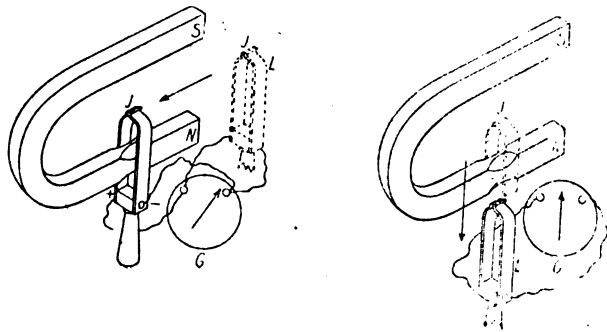


Fig. 1. On a un courant induit. — Fig. 2. On n'a pas de courant induit.

supprime ce flux par le mouvement que représente la figure 2, il n'y a pas la plus légère force électromotrice d'induction. C'est que, dans le deuxième cas, le *circuit électrique* a bien coupé le flux, mais *non le conducteur* : pendant ce mouvement, le conducteur fermant le circuit est représenté par une partie de l'aimant *fixe*, et cette partie ne coupe pas de lignes de force.

Le point mis en lumière par cette expérience est analogue à l'autre cas cité ci-dessus : ici, encore, il est tout à fait nécessaire de faire une distinction entre le *conducteur proprement dit*, et le courant, considéré en soi.

L'auteur cite encore un certain nombre d'expériences assez curieuses, et les paradoxes apparents s'expliquent toujours de la même façon : des forces électromotrices d'induction n'apparaissent qu'aux parties des conducteurs qui coupent le flux d'induction ; le reste du circuit est un simple conducteur mort au point de vue de la création de courants induits.

L'EFFET DE TENSION. — L'effet de pincement précédemment décrit avait conduit l'auteur à penser à l'existence d'une force complémentaire axiale dans la masse du métal parcouru par un courant. De même que l'effet de pincement tend à contracter les conducteurs radialement en réduisant sa section droite, de même cette autre force tend à dilater longitudinalement le conducteur, en accroissant sa longueur. Cet effet peut produire

des résultats contraires à ceux que permettent de prévoir les anciennes théories.

Voici, par exemple, l'ancienne et bien connue expérience d'Ampère : un pont métallique dont les extrémités flottent sur deux petites cuves à mercure. Le circuit en pointillé indique le montage ordinaire. On explique le mouvement de B vers la droite en disant que chaque partie du circuit tend à se déplacer de façon à embrasser l'aire maximum. L'auteur l'explique, au contraire, par la tendance que possède le circuit de s'allonger, ce qui accroît le flux en proportion de l'accroissement de longueur.

En effet, si on modifie les connexions, comme l'indique le circuit en traits pleins de la figure, alors que l'ancienne

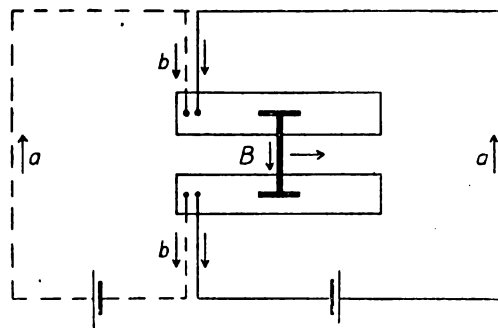


Fig. 3. — L'expérience d'Ampère refaite sous une autre forme.

théorie prévoit un déplacement du pont vers la gauche (pour accroître l'aire embrassée), la théorie de l'auteur prévoit un déplacement vers la droite, qui accroît la longueur du circuit. Et c'est ce déplacement que vérifie l'expérience.

La contraction et l'allongement ne sont que des manifestations différentes de la même cause première, c'est-à-dire de l'existence du flux qui entoure le conducteur. Ce flux tend à contracter le conducteur par un mécanisme déjà indiqué et les éléments du flux parallèles, situés dans des plans perpendiculaires au conducteur, tendent à produire la répulsion des éléments de conducteur qui leur ont donné naissance, c'est-à-dire à allonger celui-ci.

L'EFFET D'ANGLE. — L'auteur a aussi observé que, si l'on fait passer un courant dans le mercure remplissant une rainure en angle droit, il se produit au sommet de l'angle droit une agitation mécanique très marquée, qui paraît due aux effets électromagnétiques mutuels des deux conducteurs voisins et inclinés l'un par rapport à l'autre. Cet effet a été appliqué à la construction de fours électriques à bain et à résistance en métal fondu, dans lesquels des mouvements intenses de convection sont obtenus artificiellement par ce procédé.

CONCLUSIONS. — Il résulte de ce qui précède que quelques modifications sont nécessaires dans l'énoncé des lois de l'électromagnétisme. Un des points mis en lumière est la nécessité de distinguer plus clairement entre le conducteur matériel, et les plus subtils courant et flux. L'auteur considère comme possible de formuler une loi plus générale, qui serait basée sur les considérations suivantes.

La mécanique nous apprend que, dans un système quelconque, les déplacements possibles sont ceux qui correspondent à une diminution d'énergie potentielle du système. Cette loi devrait s'appliquer également bien à un système formé d'un circuit électrique traversé par un courant, le cou-

rant étant considéré simplement comme ce qui produit l'énergie potentielle (de même qu'un réservoir dont l'eau s'écoule constamment, mais qui est cependant maintenu plein par une alimentation convenable en eau, possède de l'énergie potentielle dont l'origine est le courant d'eau qui le traverse). S'il en est ainsi, il en résulte qu'un mouvement quelconque des conducteurs se produira dans le sens qui correspond à une diminution d'énergie potentielle du circuit.

Une telle loi générale semble devoir expliquer tous les mouvements observés par l'auteur ou par d'autres expérimentateurs, et que les lois ordinaires ne permettent pas de prévoir.

L. B.

Température-couleur ⁽¹⁾ et éclat de diverses sources lumineuses ⁽²⁾.

Les auteurs se proposent de donner, pour la mesure et l'expression de la qualité d'une lumière, une méthode plus correcte que celle qui est basée sur l'emploi des colorimètres (Ives, Nutting), sans qu'il soit nécessaire de recourir à une analyse spectrophotométrique de la source.

Le point de départ de leur étude est que les spectres des sources lumineuses pratiquement utilisées sont presque identiques au spectre du corps noir et par suite dépendent de la température seule.

a) Toute source dont la distribution énergétique, dans le spectre visible, coïncide avec la distribution énergétique du spectre du corps noir à une certaine température, est caractérisée par cette température du corps noir ou température-couleur, T_c , de la source.

Une lampe étalon (à tungstène ou à carbone), préalablement comparée à un corps noir, est accompagnée d'une échelle de température-couleur. À l'aide d'un photomètre à contraste (Lummer-Brodhun) on compare, à la source étudiée, une lampe auxiliaire dont on fait varier la tension jusqu'à l'obtention de l'égalité des teintes. On remplace alors la source étudiée par la lampe étalon dont on fait varier la tension jusqu'à obtention de l'égalité de teinte avec la lampe auxiliaire. La lecture de la tension de la lampe étalon permet de connaître T_c pour la source.

Introduisant dans l'équation de Wien un coefficient K_T , inférieur à l'unité, les auteurs expriment la distribution de l'énergie d'une source caractérisée par T_c au moyen de la relation

$$E_\lambda = K_T c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T_c}}.$$

Si S est la température du corps noir émettant l'énergie E_λ , on a

$$\log K_T = \frac{c_2 \log e}{\lambda} \left[\frac{1}{T_c} - \frac{1}{S} \right].$$

Les éclats de différentes sources sont calculés à partir de la

(1) A la suite de la communication, à l'assemblée annuelle de l'I. E. S. à Rochester, du mémoire analysé ci-après, l'expression nouvelle *Color Temperature* a été critiquée et une discussion plus approfondie de son opportunité a été inscrite à l'ordre du jour de la prochaine réunion.

(2) Edward P. Hyde et W.-E. Forystad, *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 20 novembre 1921, t. XVI, p. 419-430, 1 fig. 1 tab. — Sur une nouvelle méthode de mesure des températures élevées (d'après la coloration de la lumière émise par le corps incandescent); A. BORTALIC, *R. G. E.*, 8 février 1919, t. V, p. 210-217, 7 fig.

valeur K_T déterminée pour $\lambda = 0,665$ microns, et inscrits dans un tableau qui fait connaître pour ces mêmes sources T_c et S .

b) Pour une source de spectre non semblable à celui du corps noir, il n'existe pas de température-couleur caractéristique. Les auteurs, dans des essais qu'ils se proposent de poursuivre, ont cherché quelles sont les proportions de certain rouge, certain vert ou certain bleu à superposer à la lumière d'une source ayant un T_c connu, pour réaliser un éclairage identique à celui que donne la source en expérience. Cette dernière serait alors caractérisée par une expression telle que

$$T_c = x \text{ pour } 100 \text{ vert} \text{ et } y \text{ pour } 100 \text{ bleu};$$

la divergence du spectre de la source avec le spectre du corps noir serait ainsi mise en évidence, dans ses traits essentiels.

J. R.

Electroscope à charge automatique.

Sous ce titre M. Holweck a présenté à la séance du 17 mars 1922 de la Société française de Physique ⁽¹⁾, un électroscope dont la charge est réalisée automatiquement et donne toujours une même déviation des feuilles, ce qui est en pratique fort important lorsque l'instrument doit être utilisé un nombre considérable de fois au cours d'une même séance, comme c'est le cas dans les essais de radioactivité des ampoules renfermant de l'émanation du radium.

Voici le résumé de la communication accompagnant la présentation de l'appareil.

Le dispositif de charge de cet instrument consiste en un condensateur à air, à lames mobiles, du type de ceux employés en télégraphie sans fil. L'armature fixe de ce condensateur est constamment réunie à l'enveloppe métallique dans laquelle se trouve tout l'instrument; l'armature mobile étant à la position du maximum de capacité par rapport à l'armature fixe vient toucher un plot isolé, réuni à une batterie de quelques piles; elle est ainsi portée à un potentiel d'une dizaine de volts par rapport à l'enveloppe extérieure, celle-ci étant constamment connectée avec l'autre extrémité de la batterie. Si nous continuons la rotation, l'armature mobile s'isole, la capacité du condensateur diminue; lorsque celle-ci passe par son minimum, l'armature mobile vient toucher l'équipage isolé de l'électroscope, puis dépasse cette position et vient se mettre en contact avec l'enveloppe extérieure. Le rapport de la capacité totale du condensateur à la capacité minimum de celui-ci, plus celle de l'électroscope, étant de 30 environ, on peut, avec une pile de 8 v. produire 240 v. suffisants pour faire convenablement dévier la feuille mobile. Le condensateur est isolé simplement à l'ébonite, ce qui est suffisant, car il n'a à garder sa charge que pendant le temps que dure une demi-rotation, c'est-à-dire une fraction de seconde.

Ce dispositif de charge a été appliqué à un appareil destiné à la mesure précise et rapide des ampoules d'émanation du radium utilisées dans un but médical.

(1) A cette même séance, M. Holweck a présenté deux autres appareils: une lampe à incandescence de grande intensité lumineuse pour projection, et une nouvelle pompe moléculaire, dont on trouvera les descriptions dans un prochain numéro de cette Revue.

SECTION INDUSTRIELLE

Les applications du moteur Diesel dans la marine de commerce et leurs conséquences au point de vue de l'industrie électrique

L'auteur, après un exposé rapide de la question du moteur Diesel, examine les conditions d'emploi de ce moteur à bord des navires de commerce, d'une part, pour la propulsion, d'autre part, pour la commande des appareils auxiliaires (pompes, treuils...) Il montre la répercussion que doit avoir, sur le développement de l'industrie électrique, l'utilisation de plus en plus grande du moteur Diesel à bord des bâtiments. A son avis, les conditions particulières du service à la mer nécessitent une étude spéciale de certains moteurs électriques et de leur appareillage ⁽¹⁾.

Généralités sur le moteur Diesel. — Le moteur Diesel, dont les applications remontent à moins de vingt-cinq ans, a retenu l'attention, dès les débuts, par un rendement effectif supérieur à celui de toutes les autres machines thermiques. Il est remarquable que les progrès réalisés depuis la mise au point des premiers appareils ont à peine augmenté ce rendement : ils ont plutôt permis de résoudre les difficultés pratiques résultant des hautes pressions employées, du mode d'injection du combustible, de l'écoulement d'un flux de chaleur important à travers les parois les plus exposées de la chambre de combustion. Ces difficultés de construction sont aujourd'hui surmontées; d'autre part, l'expérience a permis de déterminer les meilleures règles à observer pour la conduite des appareils, en particulier d'indiquer pour chaque type de moteur la limite supérieure de la quantité de combustible à brûler dans un cylindre donné, par heure ou par cycle ⁽²⁾. En fait, depuis une quinzaine d'années, il existe des moteurs Diesel donnant toute satisfaction au point de vue de l'endurance et de la sécurité de fonctionnement; on s'explique aisément, dans ces conditions, que les applications de ces appareils deviennent de plus en plus nombreuses en raison de l'économie de combustible que leur emploi permet de réaliser.

La guerre a retardé le développement des applications du moteur Diesel, au moins chez les belligérants, parce que les efforts des constructeurs se sont portés presque exclusivement vers la réalisation de types légers destinés à des sous-marins; mais, à en juger par les comptes rendus des publications spéciales, par le nombre et l'importance des installations en cours ou déjà exécutées, il est à croire que les progrès

de la construction vont s'accroître rapidement.

On sait que les moteurs Diesel sont généralement à simple effet ⁽¹⁾ et que leur cycle comprend quatre ou deux temps; chacun des types a ses avantages et ses inconvénients, selon la nature des installations; rappelons seulement : que les moteurs à quatre temps ont le bénéfice de la moindre dépense par cheval-heure effectif, les moteurs à deux temps celui d'un couple plus régulier pour un même poids du volant; que les premiers sont considérés comme étant les plus faciles à conduire, que les seconds ont l'avantage d'un poids plus faible et d'un encombrement plus réduit pour une puissance déterminée (tout au moins en ce qui concerne les moyennes et les fortes puissances.)

Il y a pratiquement une limite supérieure et une limite inférieure aux dimensions que l'on peut donner à un cylindre de moteur Diesel : s'il est trop petit, les organes en sont délicats; s'il est trop grand, il y a lieu de craindre les déformations qui peuvent résulter de la différence qui existe entre les températures des faces interne et externe de la chambre de combustion. Une puissance de 40 ch par cylindre peut être considérée normalement comme un minimum ⁽²⁾. D'autre part, sauf quelques exceptions, on peut admettre qu'un alésage de 800 mm est le maximum actuellement réalisable pour des appareils destinés à assurer un service prolongé (cet alésage correspond à une puissance effective d'environ 400 ch pour un cylindre de moteur à quatre temps); à notre connaissance, le plus grand

⁽¹⁾ Il y a quelques exemples de moteurs à double effet, les uns horizontaux pour applications fixes, les autres verticaux pour la propulsion de navires de commerce.

⁽²⁾ Pour les puissances inférieures à 50 ch par cylindre, on emploie de préférence le moteur demi-Diesel, qui brûle également de l'huile lourde; par comparaison avec le « Diesel », ce moteur a l'avantage d'une plus grande simplicité de mécanismes, ce qui permet de le confier à des mécaniciens non spécialistes; mais il dépense plus de combustible.

⁽¹⁾ Publications consultées : *Bulletin technique du Bureau Veritas* (Paris); *Motorship* (Londres); *Motorship* (New-York).

⁽²⁾ Il s'agit, pratiquement, de fixer la valeur de l'ordonnée moyenne au-dessous de laquelle il convient de se tenir pour assurer de bonnes conditions de marche.

alésage réalisé jusqu'ici pour des moteurs à deux temps est de 760 mm, ce qui correspond à une puissance effective voisine de 600 ch par cylindre.

Il résulte de ce qui précède que la puissance normale des moteurs Diesel peut être considérée comme ne pouvant guère dépasser 3000 ch environ, avec quatre ou six cylindres pour le cycle à deux temps, six ou huit cylindres pour le cycle à quatre temps; malgré cette limitation de la puissance réalisable par unité motrice, il n'est pas douteux, comme nous l'avons déjà dit, que les applications du moteur vont se développer rapidement; ce développement est destiné à avoir certaines répercussions sur celui de l'industrie électrique, répercussions que nous aurons l'occasion d'examiner rapidement, par la suite, en ce qui concerne la marine de commerce.

L'emploi du moteur Diesel pour la propulsion des navires de commerce. — Il se produit en ce moment, dans la marine de commerce de certains pays, une évolution très significative : la diminution progressive du nombre de cargos à vapeur, une augmentation correspondante du nombre de « motorships » : en Suède et au Danemark, le tonnage des « motorships » en construction est supérieur à celui des bâtiments à vapeur; le « port en lourd » des navires à moteurs Diesel actuellement en achèvement dans le monde entier serait supérieur à 1 million de tonnes⁽¹⁾.

Les raisons de cette évolution se conçoivent aisément; sans établir ici de comparaisons techniques entre les deux types de bâtiments, bornons-nous à dire que l'utilisation des « motorships » permet une rémunération du capital nettement supérieure à celle que peut donner l'emploi de cargos ordinaires, en tenant compte de toutes les dépenses : frais d'exploitation, amortissement du capital affecté à la construction...; il est significatif que, à notre époque où le fret est à bas prix, les « motorships » naviguent en général d'une façon normale, tandis qu'un grand nombre de bâtiments à vapeur se trouvent désarmés.

L'expérience, qui porte maintenant sur une période de plus de dix années pour quelques grands bâtiments à moteurs Diesel, est tout à fait concluante en ce qui concerne leurs avantages; il y a actuellement en service des cargos d'un déplacement de 18000 à 19000 t, dont la vitesse de route est de 12 nœuds pour une dépense journalière limitée à 15 t de pétrole (au lieu de 50 à 60 t de charbon).

On évalue à au moins 95 pour 100 du nombre total de bâtiments de commerce le nombre de ceux dont la puissance propulsive totale est inférieure à 6000 ch, ce qui a fait dire que, dans un certain nombre d'années, la flotte commerciale devrait être presque exclusive-

ment composée de « motorships », à une ou à deux hélices, les paquebots seuls devant recevoir des machines à vapeur. Sans que l'on puisse préciser à ce point les conditions de l'avenir, retenons seulement la tendance que l'on a, en ce moment, à brûler des résidus de pétrole dans les foyers des chaudières; or les moteurs Diesel peuvent utiliser normalement un combustible presque aussi lourd que ces résidus, et leur consommation par cheval-heure est de 2,5 à 3 fois plus faible que celle des meilleures installations à vapeur. Cette considération doit conduire tout naturellement à l'emploi de ces moteurs dans tous les cas où la puissance à réaliser le permet.

Des modes de commande de l'hélice. — 1. TRANSMISSION DIRECTE. — La plupart des motorships actuellement en service ont deux hélices entraînées, l'une et l'autre, directement, par le moteur Diesel correspondant; cette disposition diffère de celle des cargos à vapeur qui n'ont, en général, qu'une seule hélice mise en action soit par une machine à pistons, soit par une turbine avec engrenages réducteurs.

L'emploi de deux hélices pour les motorships s'explique par les considérations suivantes : 1° il est une nécessité, à notre époque, pour des puissances effectives de propulsion supérieures à 3000 ch environ; 2° en divisant en deux la puissance motrice, on facilite son logement à bord et on diminue la grandeur du cylindre (nous verrons plus tard que, à cette diminution, correspond normalement une certaine réduction du poids par cheval). De plus, la répartition de la puissance totale sur deux arbres augmente la sécurité de la marche, puisque l'indisponibilité momentanée d'un moteur n'immobilise pas le bâtiment.

La commande directe des hélices par les moteurs Diesel a nécessairement amené les constructeurs de ces derniers à les dessiner en vue d'un nombre de tours par minute assez faible pour satisfaire aux conditions de bon rendement des hélices; mais alors que, pour les vapeurs à hélice unique, ce nombre de tours est de l'ordre de 70 à 90, il est ordinairement plus élevé, de 100 à 140, selon la puissance, pour les motorships à deux hélices. L'expérience a d'ailleurs montré que cette augmentation du nombre de tours n'est pas exclusive d'un bon rendement (si les hélices sont bien calculées); il y a avantage, au contraire, pour la marche par gros temps, à ce que les deux hélices soient plus profondément immergées (cette plus grande immersion résulte de la réduction du diamètre corrélative à l'augmentation de la vitesse).

La disposition générale précédente des motorships a fait ses preuves; elle nous paraît la plus logique pour les bâtiments à grand déplacement, destinés à effectuer de longs parcours qui doivent se faire dans les meilleures conditions de prix de revient par tonne transportée et par mille parcouru. On peut se demander néanmoins s'il y a avantage, dans certains cas, à intercaler des organes réducteurs de vitesse entre les moteurs et les hélices, afin de pouvoir fixer leurs

(1) D'après le Lloyd's Register, il a été lancé, en 1921, 136 navires à moteurs représentant un tonnage brut supérieur à 300 000 tonnes. (28 navires en Angleterre, 28 en Allemagne, 14 aux Etats-Unis, 14 au Danemark, 9 en Hollande, 9 en Suède, 18 en Italie, 6 en Norvège, 3 dans les Dominions Britanniques, 7 au Portugal, 4 en Finlande, 0 en France).

caractéristiques indépendamment les unes des autres. C'est ce que nous allons examiner.

2. TRANSMISSION INDIRECTE PAR ENGRENAGES. — Nous avons dit que les moteurs marins commandant directement des hélices étaient nécessairement des moteurs lents; or, *plus les moteurs sont lents, plus ils sont lourds*. La puissance d'une machine et en effet, donnée par la relation $P = K D^2 C N p_m$, K étant un coefficient qui dépend du type de machine, et D , C , N , p_m étant respectivement le diamètre du cylindre, la course du piston, le nombre de tours par minute, l'ordonnée moyenne du diagramme; si on admet, ce qui n'est pas loin de la vérité, que des moteurs Diesel d'un type donné peuvent avoir la même vitesse moyenne du piston et la même ordonnée moyenne du diagramme, on voit que: 1° CN et p_m sont des constantes, c'est-à-dire que la puissance P est proportionnelle au carré du diamètre du cylindre; 2° la course C varie en sens inverse du nombre de tours N ; or, si on diminue C (en conservant le même alésage pour les cylindres, c'est-à-dire *la même puissance pour le même moteur*), on diminue la hauteur et, par conséquent, le poids de celui-ci, ce qui vérifie bien ce que nous avons dit plus haut (1).

Il est évident que l'on ne peut descendre au-dessous d'une certaine valeur pour le rapport $\frac{C}{D}$; mais ce rapport peut varier de 2 à 1 environ, ce qui donne une idée des variations de vitesse que l'on peut réaliser pour des moteurs ayant un certain diamètre de cylindre; on arrive ainsi à des différences de poids très sensibles pour des appareils de même puissance et d'endurance à peu près équivalente. Si on consent de plus à une diminution de l'endurance, dans le cas, par exemple, où le moteur ne doit pas fonctionner pendant longtemps sans arrêt, la différence de poids peut être considérable: il y a des installations qui pèsent par cheval plus de 200 kg; il en est d'autres qui ne dépassent pas 30 kg (moteurs de sous-marins).

Dans ces conditions, on peut être tenté d'utiliser un moteur rapide pour commander une hélice, en intercalant, entre celle-ci et l'arbre du moteur, des engrenages réducteurs. L'emploi des engrenages ne nous paraît d'ailleurs pas une solution recommandable, bien qu'il en existe plusieurs exemples, et qu'elle ait été appliquée récemment sur le vapeur « Halebant », de la Hambourg-American Line, de 10200 t de port en lourd (2 moteurs de sous-marins pouvant développer chacun 3000 ch à l'allure de 390 t: mn, mais dont on a réduit le nombre de tours par minute à 230 et la puissance à 1650 ch pour l'application considérée, commandent chacun une hélice par l'intermédiaire d'engrenages qui

(1) En principe, on ne change pas les conditions de fonctionnement du moteur en diminuant la course, car il faut faire varier dans le même sens le volume de l'espace neutre, de telle manière que la pression de fin de compression soit toujours de 30 à 35 kg: cm² (afin que l'allumage du combustible soit assuré dans tous les cas); le rapport volumique de compression n'est donc pas modifié.

réduisent la vitesse dans le rapport de 2,7 à 1); on peut craindre, en effet, que la rapidité du démarrage, l'irrégularité du couple moteur en régime établi, et surtout les chocs sur l'hélice dans le cas de mauvais temps nuisent à la bonne conservation des engrenages; d'autre part, les moteurs rapides ont toujours, quoi qu'on fasse, un fonctionnement moins sûr que les moteurs lents. Ils consomment d'ailleurs un peu plus de combustible que ces derniers, même sans faire entrer en ligne de compte la perte de rendement effectif résultant de l'emploi des engrenages.

3. TRANSMISSION INDIRECTE PAR APPAREILS ÉLECTRIQUES. — La transmission dite « Diesel électrique » comporte l'installation d'une véritable station centrale qui fournit l'énergie électrique au moteur ou aux moteurs actionnant l'hélice ou les hélices, ainsi qu'aux différents appareils auxiliaires du bord. On n'envisage généralement que l'emploi du courant continu, parce qu'il permet de réaliser une plus grande souplesse de manœuvre, et aussi, parce que l'on peut craindre des difficultés, à bord, pour le couplage en parallèle des alternateurs conduits par des moteurs Diesel. (La vitesse de ces moteurs est d'ailleurs relativement faible par rapport à celle des turbines à vapeur, ce qui diminue l'intérêt qu'il y a de leur faire entraîner des alternateurs).

Les raisons qui peuvent justifier l'emploi des appareils électriques sont les suivantes:

1° Ils permettent l'utilisation de moteurs plus rapides que dans le cas de la transmission directe, ce qui rend possible une économie de poids importante en se tenant dans des conditions d'endurance équivalentes à celles des stations centrales de terre; l'inconvénient qui résulte de l'endurance moindre des moteurs rapides est atténué du fait que l'on peut employer 3, 4 ou 6 groupes électrogènes, au lieu d'affecter un moteur à chaque hélice. La répartition de la puissance totale entre plusieurs moteurs a pour effet de réduire la puissance de chaque unité, ce qui contribue à abaisser encore le poids par cheval: on sait, en effet, que la puissance par cylindre est proportionnelle à D^2 ; or le poids du moteur est, en principe, proportionnel à D^3 pour une certaine valeur du rapport $\frac{C}{D}$, ce qui revient à dire que le poids par cheval est proportionnel à D (ceci ne se vérifie d'ailleurs que d'assez loin, car chaque moteur comporte des accessoires dont le poids entre dans le poids total pour une fraction d'autant plus importante que le moteur est plus petit); mais il y a néanmoins réduction de poids par cheval quand on diminue l'alésage: on peut l'estimer à 20 pour 100 environ lorsqu'on passe de 600 mm à 300 mm pour le diamètre du cylindre).

2° L'augmentation du nombre des moteurs Diesel en action augmente en fait la sécurité de fonctionnement; en effet, dans le cas où chaque hélice est commandée par son moteur, celui-ci doit pouvoir faire la traversée (45 ou 60 jours, s'il le faut) sans nécessiter aucune visite de soupape. Dans le cas où l'énergie est

fournie par 6 groupes électrogènes, par exemple, l'arrêt momentané d'un groupe ne diminue la vitesse que de 7 pour 100 environ (il suffirait, d'ailleurs, pour la maintenir à sa valeur normale, d'imposer aux autres groupes la surcharge qu'ils sont à même de supporter pendant un certain temps).

3° Les génératrices actionnées par les moteurs Diesel peuvent être couplées de manière à pourvoir à l'alimentation d'un moteur unique commandant l'hélice. L'installation d'un seul arbre peut constituer un avantage au point de vue du poids, de l'encombrement, surtout pour les petits bâtiments; le poids total des groupes électrogènes et du moteur de propulsion unique peut d'ailleurs être notablement inférieur à celui du moteur thermique à allure lente qui en tiendrait la place.

4° Le moteur électrique commandant l'hélice peut être placé à l'extrême-arrière, ce qui supprime en fait la ligne d'arbres; quant à l'emplacement réservé aux moteurs Diesel, il n'est plus assujéti à des considérations de position bien déterminée par rapport à l'axe de l'arbre d'hélice; on peut donc les disposer de la manière la plus avantageuse pour améliorer les conditions d'encombrement, ce qui permet une augmentation de l'espace disponible pour les marchandises ou pour les passagers.

5° La commande par transmission électrique permet de faire varier la vitesse entre de plus grandes limites que dans le cas de la transmission directe ou par engrenages: le nombre de tours d'un moteur Diesel ne peut, en effet, être réduit au-dessous de 30 à 35 pour 100 du nombre de tours par minute, N , correspondant à la pleine puissance. Avec la transmission électrique, on peut pratiquement faire varier la vitesse depuis 0 jusqu'à N , en procédant à des groupements d'induits et en faisant varier l'excitation des génératrices.

6° Le renversement de marche du moteur électrique peut s'effectuer très aisément, même à distance, ce qui permet de simplifier un peu les moteurs Diesel en supprimant leurs propres organes de renversement de marche.

7° On peut ajouter que la lecture des appareils servant à la mesure du courant utilisé par le moteur permet de se rendre compte des conditions de marche du moteur Diesel, quel que soit l'état de la mer ou la propreté de la carène. Il est arrivé que des moteurs Diesel de bord ont été surchargés, à défaut d'appareils de contrôle, sans que le mécanicien s'en soit douté à priori, du fait que la vitesse de route a été maintenue malgré une augmentation de la résistance au déplacement; les ampèremètres et voltmètres constituent à cet égard des appareils de contrôle très précieux.

8° L'emploi d'une véritable station centrale dispense de celui d'un certain nombre de groupes électrogènes spéciaux qui sont nécessaires, dans le cas de la commande directe ou par engrenages, pour desservir les différents appareils auxiliaires du bord (treuils, pompes...)

Les inconvénients de la commande de l'hélice ou des

hélices par appareils électriques se conçoivent aisément :

1° La consommation par cheval-heure disponible sur l'arbre d'hélice est augmentée de près de 20 pour 100, à cause de la double transformation de l'énergie dans les génératrices et dans le moteur électrique (au lieu de dépenser, par exemple, 2,5 fois moins de combustible que dans le cas d'excellentes machines à vapeur pourvues de chaudières brûlant du pétrole, les dépenses ne seront plus que dans le rapport de 2 à 1 environ).

2° L'installation générale peut être plus compliquée dans son ensemble.

Examen des différents cas qui se présentent.

— 1° CARGOBOATS D'UN DÉPLACEMENT DE 8 000 T A 22 000 T ENVIRON, NÉCESSITANT UNE PUISSANCE DE PROPULSION DE 1 500 A 6 000 CH ENVIRON. — Ces cargos sont destinés à effectuer normalement de longs parcours; le grand rayon d'action des motorships, dû à leur faible consommation, permet de réduire le nombre des escales, de sorte que ces bâtiments se prêtent d'une manière toute spéciale au service des lignes d'Extrême-Orient, Australie, Pacifique. Un motorship, de 18 000 t peut avoir facilement un rayon d'action de 25 000 à 30 000 milles; pour se rendre d'Europe au Japon, par exemple, et en revenir, il lui suffit de se ravitailler une fois à l'aller, une fois au retour (à Singapour, actuellement, plus tard peut-être à Djibouti...); ce ravitaillement ne demande que quelques heures, et la dépense de pétrole est assez faible pour que, à chaque voyage, le bâtiment puisse laisser plusieurs centaines de tonnes de combustible à son port de départ.

Pour les motorships de cette catégorie, c'est évidemment la commande directe des hélices par les moteurs Diesel qui est la plus indiquée. En utilisant la transmission électrique, on augmenterait le prix de l'énergie disponible sur l'arbre d'hélice, ce qui est le point important à considérer pour des bâtiments dont le nombre d'heures de marche des moteurs est relativement élevé. Le bénéfice de poids et d'encombrement que cette transmission électrique pourrait permettre de réaliser sur l'installation serait détruit par la nécessité de loger à bord une plus grande quantité de combustible pour effectuer un parcours déterminé.

Citons, comme première application de la marine de commerce française, le « Camrahn », de la Compagnie des Chargeurs réunis, (déplacement, 17 000 t), dont la puissance totale de propulsion sera de 3 400 ch.

2° CARGOBOATS D'UN DÉPLACEMENT DE 3 000 A 8 000 T ENVIRON, NÉCESSITANT UNE PUISSANCE TOTALE DE PROPULSION DE L'ORDRE DE 800 A 1 500 CH. — Si ces bâtiments sont affectés à des lignes sur lesquelles les escales sont normalement assez peu espacées (Méditerranée, Afrique du Nord, Maroc...), on peut accepter, dans certains cas, un prix de revient de l'énergie un peu plus élevé que lorsque la commande est directe, s'il doit en résulter une augmentation de la capacité de chargement ou du

nombre de places disponibles pour des passagers : la transmission électrique peut donc trouver ici sa justification. Les solutions à adopter dépendent essentiellement du service du bâtiment (nombre d'heures de marche sans arrêt, rapport entre le nombre d'heures de marche et le nombre d'heures à passer dans les ports) : lorsqu'il s'agit d'effectuer de longs parcours sans escale, la question principale est celle du prix de revient de la tonne par mille parcouru ; lorsque le bâtiment est destiné à effectuer un grand nombre de petits voyages, c'est la capacité de chargement qu'il importe de faire aussi grande que possible.

On vient de mettre en service, au Danemark, un cargo de 6 350 t, le « Leise Maersk », dont le moteur de propulsion unique, de 1 150 ch, commande directement l'hélice à la vitesse de 85 t : mn. Par contre, un bâtiment de 3 000 t, le « Fordonian », construit en 1912, vient d'être transformé pour être propulsé électriquement : il a maintenant deux moteurs Diesel de 425 ch, dont chacun commande une dynamo compound ; les deux dynamos peuvent être couplées de manière à alimenter un moteur électrique actionnant l'hélice.

Pour montrer que l'avantage n'est acquis pour le moment à aucune solution, signalons la mise en service du cargo « Finn », qui déplace 4 000 t et est propulsé par deux moteurs Diesel de 500 ch actionnant chacun une hélice par transmission directe.

Remarque. — Il est intéressant de signaler l'application qui a été faite de moteurs Diesel, comme appareils auxiliaires de propulsion, pour de grands voiliers : 1° Le « Copenhague » appartenant à l'Est-Asiatique danois, dont le port en lourd est de 5 300 t et qui est pourvu d'un moteur de 650 ch ; 2° le « Magdalem-Vimen », du port de Brême, dont le port en lourd est de 5 200 t et qui a reçu un moteur de propulsion de 550 ch. L'hélice, pour chacun de ces deux bâtiments, est à deux ailes, à pas variable et réversible, dont on peut mettre le plan moyen dans le plan longitudinal du bâtiment pendant la marche sous voile, afin de rendre à peu près nulle leur résistance à la marche.

3° BATIMENTS DE MOYEN TONNAGE POUR PASSAGERS (2 000 à 6 000 t, ENVIRON). — La puissance nécessaire pourra être de l'ordre de 1 000 à 3 000 ch ; il nous semble que c'est pour des bâtiments de cette catégorie, destinés à effectuer de petits parcours (Angleterre, Algérie, Corse.), que la propulsion Diesel-électrique pourrait avoir des avantages importants par rapport au système de commande directe, car le bénéfice réalisé sur l'encombrement trouve ici sa meilleure utilisation.

Il est intéressant d'estimer ici grosso modo, les avantages que peut avoir, par rapport à une installation à vapeur, une installation de moteurs Diesel avec transmission électrique ; on peut ainsi les résumer :

1° La dépense de combustible est égale, en régime établi, à la moitié environ de celle qui correspond à l'emploi de chaudières chauffées au pétrole et desservant d'excellentes machines à vapeur ;

2° Le personnel mécanicien est réduit dans une cer-

taine mesure (d'un tiers environ par rapport au cas de chaudières chauffées au charbon) ;

3° Le poids et l'encombrement des appareils peuvent être sensiblement inférieurs à ceux d'une installation à vapeur. (D'après une étude de M. Thau, parue dans le *Journal of the American Institute of Electrical Engineers* du mois d'août 1921, la réduction du poids serait d'un quart environ pour une puissance de 3 000 ch, dans des conditions déterminées de vitesse et de rayon d'action, desquelles dépend l'approvisionnement nécessaire en combustible) ;

4° Les conditions d'habitabilité du bord sont notablement améliorées, surtout par temps chaud.

En ce qui concerne les consommations de combustible, le bénéfice par rapport aux installations à vapeur peut prendre une importance particulière dans le cas où le bâtiment fait de nombreuses escales, de trop courtes durées pour que l'on procède à l'extinction des feux des chaudières.

4° GRANDS BATEAUX DE PÊCHE. REMORQUEURS. BATIMENTS DE CABOTAGE ET DE NAVIGATION FLUVIALE. YACHTS. BATEAUX-POMPES.

— Les bâtiments destinés à la grande pêche peuvent avoir le plus grand intérêt à ce que leurs hélices soient mises en action par des moteurs Diesel. L'un des avantages qui résulte de l'emploi de ces moteurs consiste en une augmentation considérable du rayon d'action, pour un même poids de combustible embarqué, ce qui permet aux bâtiments de se rendre sur des lieux de pêche éloignés ; d'autre part, la suppression de la chaudière, des tuyaux de vapeur, de la machine à vapeur elle-même, diminue la température intérieure et facilite, par conséquent, la mise en œuvre des moyens de conservation du poisson (on sait que les moteurs Diesel rayonnent peu de chaleur, du fait que la chambre de combustion et le tuyau d'échappement sont entourés d'une enveloppe d'eau à température peu élevée).

Il existe un certain nombre de remorqueurs munis de moteurs Diesel, donnant toute satisfaction. Ces types de bâtiments sont assujettis à un régime intermittent et, de plus, la puissance qui est demandée à leurs appareils est variable selon les circonstances : ce sont là des conditions de marche qui augmentent les avantages d'une installation « Diesel » par rapport à une installation « vapeur ». C'est qu'en effet les variations de l'intensité de la combustion dans un foyer de chaudière nuisent beaucoup au rendement général ; d'autre part, l'entretien des feux pendant que les machines sont au repos, leur remise en activité lors d'un nouveau départ sont des causes d'augmentation de la dépense de combustible ; d'où l'intérêt que présente l'emploi des moteurs Diesel qui ne consomment du combustible que lorsqu'il y a production d'effet utile, et dont le rendement varie d'ailleurs relativement peu avec la charge.

On aurait pu craindre que le démarrage des moteurs Diesel ne fût un peu brusque pour le service de remorquage ; l'expérience a montré que le personnel arrive à acquérir assez rapidement une habileté de manœuvre telle que la souplesse du démarrage peut être considé-

rée comme satisfaisante. Il est possible, néanmoins, que la transmission électrique présente encore ici des avantages par rapport à la transmission directe, du fait, surtout, qu'elle permet, selon les circonstances, de faire varier aisément les deux facteurs de la puissance, le couple et la vitesse angulaire. En fait, le premier bâtiment à moteur Diesel dont l'hélice ait été mue électriquement est un petit remorqueur, le « *Mariner* », d'environ 50 m de long.

Les bâtiments faisant la navigation fluviale sont un peu dans le même cas que les remorqueurs, en ce qui concerne les variations du régime de marche. Les caboteurs, dont les escales sont nombreuses, sont soumis à un régime analogue : s'ils ont une machine à vapeur, ils dépenseront beaucoup de charbon à chaque escale pour l'entretien des feux et leur remise en activité ⁽¹⁾.

Pour la navigation de plaisance, la propulsion par moteur Diesel, avec ou sans transmission électrique, permet de réduire l'emplacement occupé par la machinerie et d'améliorer les conditions d'habitabilité du bord. Citons le yacht « *Guinevere* », qui déplace 650 t, dont l'hélice est actionnée par un moteur électrique recevant le courant de deux groupes électrogènes à moteurs Diesel, d'une puissance totale de 700 ch; les dynamos génératrices sont du type compound; leur puissance unitaire est de 225 kw; la puissance utile du moteur actionnant l'hélice est de 550 ch.

Un des avantages du moteur Diesel consiste en la possibilité de son démarrage instantané et de sa mise en charge rapide. C'est ainsi que les bateaux-pompes peuvent être avantageusement équipés, d'une part, par un groupe électrogène avec moteur Diesel, d'autre part, par divers moteurs électriques dont l'un conduit l'hélice, les autres des pompes d'épuisement et d'incendie; toute la puissance du groupe peut être utilisée successivement pour la propulsion du bateau et pour la mise en œuvre des pompes.

Remarque. — Pour diverses applications de ce genre, l'emploi simultané des moteurs Diesel et des machines électriques se conçoit parfaitement, en raison des avantages qui leur sont communs et qui sont :

1° Possibilité de mise en action rapide (sans autre dépense de combustible ou d'énergie que celle qui correspond à l'effet utile à produire);

2° Possibilité de passer rapidement d'un régime de charge à un autre;

3° Variations relativement faibles du rendement avec la charge, tout au moins entre la pleine charge et le tiers de charge environ.

Il n'est pas douteux que cette concordance des pro-

priétés générales aura pour conséquence un certain développement de l'emploi des machines électriques, parallèlement à celui des moteurs Diesel.

Le service des appareils auxiliaires à bord des navires de commerce. — L'emploi des moteurs Diesel comme appareils de propulsion des cargos a favorisé considérablement la tendance actuelle vers l'électrification des appareils auxiliaires des navires de commerce. Malgré les avantages que l'on reconnaît au moteur électrique utilisé à terre pour la commande des pompes, appareils de levage..., on a pu craindre que les conditions spéciales du service à bord en rendent l'emploi difficile sur les bâtiments, tout au moins pour les treuils de pont qui sont particulièrement exposés à la mer et aux intempéries. C'est ainsi qu'une compagnie danoise, lorsqu'elle fit construire ses deux premiers motorships, le « *California* » et l'« *Orégon* », fit installer des treuils à vapeur sur le « *California* », bien que tous les autres appareils auxiliaires de ce bâtiment fussent électriques; par contre, elle supprima complètement l'emploi de la vapeur sur l'« *Orégon* » (Sur les 2 bâtiments, l'énergie électrique était demandée à des groupes électrogènes comportant des moteurs Diesel). La comparaison faite fut tout à fait favorable à l'électrification complète, de sorte que le « *California* » fut bientôt équipé de la même manière que l'« *Orégon* ».

Cette expérience, et plusieurs autres du même genre, font ressortir la différence suivante entre les consommations de combustible sur deux bâtiments similaires dont l'un aurait des auxiliaires électriques (treuils, pompes...) avec dynamos mises en action par des moteurs Diesel, l'autre des machines à vapeur auxiliaires pour tous ses services : pour 1 kg de pétrole dépensé par le premier, au mouillage, pendant les opérations de chargement et de déchargement, le second dépense environ 10 kg de charbon. Cette différence, quelque considérable qu'elle soit, peut se concevoir aisément si on considère :

1° Que le nombre d'heures de fonctionnement réel des treuils est relativement faible par rapport à la durée totale des opérations de chargement, et qu'il est difficile d'éviter les pertes de vapeur pendant les arrêts (purgés, fuites);

2° Qu'il y a une condensation considérable de vapeur dans les longs tuyautages qui aboutissent aux machines installées sur le pont;

3° Que la consommation de vapeur des machines de faible puissance, par cheval-heure, est généralement assez forte.

En fait, presque tous les motorships actuellement en service ont leurs appareils auxiliaires commandés électriquement; ils n'ont à bord qu'une petite chaudière que l'on utilise éventuellement : 1° pour fournir la vapeur nécessaire au réchauffage du combustible, 2° pour la mise en action d'un petit compresseur d'air qui remplit les réservoirs de lancement des moteurs Diesel, soit pour un premier lancement, soit parce

(1) Le service de remorquage entre Paris et Rouen utilise en ce moment seize bâtiments munis de moteurs Diesel; ces bâtiments dépensent à peu près, en combustible liquide, le dixième de ce qu'ils consommeraient en charbon s'ils avaient des machines à vapeur.

L'économie en franes qui résulte de l'emploi des moteurs Diesel est ainsi de 50 pour 100 au moins et peut atteindre environ 75 pour 100.

que ces réservoirs se sont vidés accidentellement ⁽¹⁾.

La commande électrique des appareils auxiliaires de bord, avec des moteurs Diesel comme première source d'énergie, n'est pas avantageuse pour les seuls « motorships » ; il y aurait certainement intérêt, même lorsque l'emploi de la vapeur est indispensable (ce qui est le cas des paquebots), à limiter cet emploi à la période de marche du bâtiment ; il faudrait donc électrifier tous les appareils qui fonctionnent normalement au mouillage (pompes de service, treuil...), et même ceux dont la mise en action peut être nécessaire à la sécurité du bâtiment (épuisement, incendie...). Il est, en effet, très dispendieux de garder une grande chaudière en pression pour alimenter un certain nombre de petites machines à vapeur placées loin des chaufferies, et dont la plupart ne sont mises en marche que par intermittence et pour de courtes durées ⁽²⁾.

En ce qui concerne les appareils auxiliaires qui sont en service à la mer, on peut être amené à en électrifier également le plus grand nombre possible ; ces appareils consomment, en effet, une part importante de la quantité de vapeur fournie par les chaudières, ce qui est la conséquence d'un développement considérable du tuyautage et du fractionnement très poussé de la puissance absorbée par les services auxiliaires ; il ne paraît pas impossible qu'on arrive à ne plus utiliser la vapeur que pour les machines propulsives elles-mêmes et pour certains appareils spéciaux, tels que les pompes alimentaires des chaudières.

L'équipement électrique des appareils auxiliaires, en général, ne paraît pas devoir être beaucoup plus coûteux que celui des mêmes appareils actionnés à la vapeur, à cause du développement de tuyautage nécessaire dans ce dernier cas (arrivée de vapeur, évacuation de vapeur, purges...).

En service, l'avantage appartient incontestablement au premier système, non seulement à cause du moindre prix de revient pour l'énergie produite, mais encore pour les raisons suivantes :

1° Plus grande sécurité de fonctionnement et plus grande endurance des appareils. — Les appareils mécaniques de petite puissance sont évidemment d'autant plus endurants que le nombre de pièces en mouvement est plus réduit : le moteur électrique est celui qui remplit, à ce point de vue, les conditions les meilleures puisque la seule pièce mobile est animée d'un mouvement de rotation continu. Il est vrai que, pour les moteurs employés sur les bâtiments, il y a lieu de prendre des précautions spéciales pour les adapter, ainsi que leur appareillage, aux conditions du service à bord ; mais l'expérience a montré que les difficultés

qui en résultent peuvent être assez aisément surmontées. Sur les motorships, par exemple, la manœuvre et l'entretien courant des treuils de pont (qui sont parmi les plus exposés à la mer) ne réclament aucun soin spécial ; on ne peut en dire autant des treuils à vapeur, dont les cylindres sont exposés à des chocs violents provenant des entraînements d'eau (qu'il est difficile d'éviter complètement à cause de la forte condensation dans des tuyautages de grande longueur, quelquefois peu abrités) ;

2° Plus grande facilité de service. — Les appareils électriques peuvent être mis en action très rapidement, tandis que les machines à vapeur nécessitent un réchauffage initial, qui fait perdre du temps.

3° Amélioration des conditions d'habitabilité. — Les tuyaux qui desservent les machines à vapeur placées à différents points du bâtiment rayonnent une certaine quantité de chaleur, ce qui tend à augmenter la température intérieure du bord ; l'inconvénient en est évident dans certains cas, pour le bien-être du personnel, d'une part, pour la conservation de certaines denrées, d'autre part. L'extinction des chaudières au mouillage, rendue possible par l'électrification générale des auxiliaires, améliore les conditions générales d'habitabilité et simplifie le service.

Installations électriques. — Nous n'en dirons que quelques mots.

La plupart des motorships disposent de trois ou quatre groupes électrogènes. Sauf le cas où les moteurs de propulsion sont à deux temps et comportent des pompes de balayage indépendantes (turbo-soufflantes actionnées par des moteurs électriques à grande vitesse), la puissance unitaire de chaque groupe n'est que de l'ordre de 100 ch sur l'arbre commun du moteur et de la dynamo. Un groupe suffit généralement pour le service à la mer, mais il en faut au moins deux en action au mouillage, pendant les opérations de chargement et de déchargement ⁽¹⁾.

Les dynamos sont, en général, du type compound à tension très légèrement croissante jusqu'aux environs de la pleine charge (bien que le nombre de tours baisse de 5 pour 100 environ entre la marche à vide et la marche à toute-puissance) ; elles peuvent être couplées en parallèle.

La tension utilisée est, en général, de 230 v, sauf en ce qui concerne l'éclairage, pour lequel les règlements des sociétés de surveillance imposent généralement un maximum de 115 v sur les bâtiments utilisant des combustibles liquides.

L'alimentation du circuit d'éclairage sous cette tension, sur un grand nombre de motorships, se fait par

⁽¹⁾ On peut d'ailleurs supprimer la chaudière, actionner le compresseur au moyen d'un moteur semi-Diesel, réchauffer le combustible au moyen de l'eau de circulation des moteurs.

⁽²⁾ L'emploi de la vapeur pour les treuils est tellement dispendieux que l'on tend, de plus en plus, sur les bâtiments dont l'installation électrique est peu développée, à commander ces treuils par des moteurs semi-Diesel.

⁽¹⁾ Pour les bâtiments de petit et de moyen tonnage, les groupes électrogènes comportent parfois des moteurs semi-Diesel. Tel est le cas des bâtiments américains type « Benova », de 4.400 t de port en lourd, propulsés par deux moteurs Diesel de 640 ch indiqués, disposant de deux groupes électrogènes avec moteur semi-Diesel, l'un de 60 kw, l'autre de 30 kw.

un ou deux groupes moteur-générateur, munis d'un volant assez lourd pour que la lumière ait toute la fixité désirable, sans que l'on soit astreint à donner aux groupes électrogènes eux-mêmes un faible coefficient $\frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\text{moy}}}$.

Les appareils à desservir sont nombreux. Le « Glenogle », par exemple, bâtiment anglais de 14 000 t de port en lourd, dispose de :

8 treuils de pont de 3 t avec moteur électrique de 35 ch; 6 treuils de pont de 7 t avec moteur électrique de 50 ch; 1 cabestan, 1 appareil de commande pour le gouvernail. Il faut y ajouter : 1° les moteurs électriques qui actionnent les auxiliaires des machines motrices (pompes de réfrigération, pompes de graissage, compresseurs d'air de lancement, éventuellement compresseurs d'air de balayage); 2° ceux qui intéressent le service général du bord (pompes d'épuisement et de transvasement, pompes d'incendie et de cale, compresseurs et pompes des installations frigorifiques, etc.).

Les conditions spéciales du service à bord nécessitent des règles de construction spéciales pour certains moteurs et leur appareillage; il faut tenir compte de l'action corrosive de l'air marin, de l'humidité; il faut prévoir que certains appareils peuvent être mouillés, qu'ils peuvent être soumis à l'action plus ou moins directe du soleil. Comme pour tout appareil de bord, leur fonctionnement doit être sûr, les visites relativement commodes, les remises en état faciles. C'est, en somme, un matériel spécial qui, pour donner toute satisfaction, doit être bien conçu et bien exécuté.

Dans quelle voie peut-on envisager l'évolution prochaine de la marine marchande en ce qui concerne l'emploi des moteurs Diesel. — Il n'est pas douteux que le « motorship » soit, à l'heure actuelle, le meilleur type de bâtiment pour le transport des marchandises; mais il est probable que la transformation de notre marine marchande ne sera pas aussi rapide que ne l'impliquerait l'intérêt du pays et des compagnies de navigation. Il y a à cela un certain nombre de raisons :

1° Les personnalités responsables de ces compagnies ont besoin de se former une opinion en toute connaissance de cause; elles ne peuvent se contenter d'une affirmation, il leur est indispensable de voir et de se rendre compte;

2° Certains éprouveraient des craintes quant à la possibilité de trouver sûrement le personnel compétent nécessaire à la conduite des moteurs;

3° D'autres pensent qu'il sera difficile de se procurer du combustible liquide en quantité suffisante.

En ce qui concerne la première raison, il s'agit surtout d'un état d'esprit à créer. On doit espérer qu'il se formera assez tôt pour que nous entrions sans trop tarder dans la voie que nous ont montrée les Pays Scandinaves, et où se sont engagés ou s'engagent la

Hollande, l'Angleterre ⁽¹⁾, l'Italie, les Etats-Unis, l'Allemagne elle-même qui, ne se contentant pas d'usiner des moteurs de marque nationale, achète des licences de fabrication pour des moteurs étrangers.

Il n'y a pas lieu de s'arrêter à la deuxième raison, car si les mécaniciens conducteurs de moteurs Diesel doivent nécessairement recevoir une instruction spéciale, leur formation, si elle bien conduite, n'est guère plus difficile que celle des mécaniciens chargés de machines à vapeur.

Quant à la question du combustible, il est à penser que les routes commerciales de l'avenir auront prochainement des dépôts de pétrole en différents points. Le nombre de navires pétroliers augmente d'ailleurs rapidement, surtout en Angleterre et aux Etats-Unis. On sait, de plus, que le rayon d'action des motorships est généralement assez élevé pour qu'ils puissent choisir leur port d'embarquement du combustible; les seuls « motorships » français qui auraient à s'approvisionner dans la métropole paraissent devoir être ceux qui desserviront l'Afrique du Nord et l'Afrique occidentale.

La flotte commerciale de la France a aujourd'hui une importance telle qu'il n'y a pas lieu d'escompter, pour un avenir très prochain, une grande activité de nos chantiers de construction. Cette circonstance, jointe à l'état de fatigue dans lequel se trouvent nécessairement les machines d'un certain nombre de navires, fait penser qu'il y a lieu d'envisager, pour les prochaines années, non pas surtout la mise en chantiers de motorships, mais plutôt la transformation en « motorships » d'un certain nombre de cargos à vapeur ⁽²⁾.

Des transformations de ce genre ont déjà été faites à l'étranger; citons :

1° Les trois bâtiments du « type Landrard », de 6 000 t de port en lourd, sur lesquels on a remplacé la machine à vapeur par un moteur Diesel de 1 700 ch indiqués, ce qui a permis d'augmenter de 600 t le poids de la cargaison et de réduire de 14 à 8 hommes le personnel de la machine;

2° Le bâtiment « Zamora », de 5 000 t de port en lourd, construit il y a trente ans, dont la machine à vapeur a été remplacée par un moteur Diesel de 1 200 ch effectifs, ce qui a permis d'augmenter de 300 t le poids de la cargaison et de réduire de 13 à 8 le personnel de la machine.

Les transformations de ce genre peuvent être réalisées de manières différentes, non seulement d'après les services auxquels les bâtiments sont affectés, mais encore d'après les possibilités de réalisation variables

⁽¹⁾ Il existe déjà une dizaine de compagnies anglaises qui comptent dans leur flotte un certain nombre de motorships (Glen-Line, Pacific Steam Navigation, British India Steam Navigation, Bebbly-Line...)

⁽²⁾ Il est possible que nous nous trompions; nos compagnies de navigation ne tarderont pas à se rendre compte des avantages que présente l'emploi des moteurs Diesel : dès que les circonstances le permettront, il est à supposer qu'elles voudront rattraper le retard que nous avons déjà sur les marines de commerce étrangères.

selon les pays intéressés. Une maison étrangère a pu, par exemple, créer pendant la guerre un type de moteur à vitesse lente (70 à 90 t : mn), adapté à la commande directe des navires à une seule hélice. Dans la limite où des moteurs de ce genre pourraient être usinés, leur emploi constitue évidemment la meilleure solution pour la transformation des cargos à hélice unique assurant le trafic avec les pays éloignés.

Pour les petits cargos, pour des bâtiments à passagers de moyen tonnage, il se peut que ce soit la considération d'emplacement maximum qui l'emporte : ce sera la solution « Diesel-électrique » qui sera à envisager. Cette solution se recommande d'ailleurs par la possibilité qu'elle offre d'utiliser pour le mieux la forme de l'arrière et l'emplacement laissé libre par le débarquement des machines et des chaudières.

L'électrification des appareils auxiliaires des bâtiments existants (avec moteurs Diesel pour la production de la force motrice) doit retenir dès à présent l'attention des milieux intéressés; l'exemple donné par la Compagnie propriétaire du « California » et de « l'Orégon » est tout à fait significatif; il ne s'agit pas seulement des « motorships », mais encore des cargos à vapeur et même des paquebots.

Un certain nombre de grands bâtiments à vapeur ont déjà comme appareil de secours un groupe électrogène de 50 à 80 kw actionné par moteur Diesel et placé dans les hauts, destiné à assurer éventuellement un éclairage intérieur réduit, ainsi qu'à fournir l'énergie nécessaire à la télégraphie sans fil et à la mise à l'eau des embarcations au moyen de treuils électriques.

Il est intéressant de constater, à propos du nouveau transatlantique « Paris », que l'électrification des paquebots est déjà fort avancée; il y a néanmoins dans l'ensemble de l'installation des appareils auxi-

liaires de ce bâtiment quelques dispositions qui paraissent devoir disparaître.

Il existe sur ce bâtiment :

a) Des treuils électriques pour la mise à l'eau des embarcations, des grues électriques pour le service des bagages, des treuils électriques pour le service des vivres, mais aussi des treuils à vapeur pour les cales de marchandises, 2 cabestans à vapeur pour les ancres, 12 cabestans à vapeur pour opérations de halage;

b) Des radiateurs électriques, mais aussi des radiateurs à vapeur;

L'énergie électrique est fournie par trois groupes électrogènes à vapeur de 450 kw, situés à 40 m environ des chaudières arrière, à plus de 100 m des chaudières avant, ce qui implique la mise sous pression d'un tuyautage très développé pour desservir ces appareils; chaque chaudière a une puissance d'environ 3 000 ch, c'est-à-dire qu'elle est beaucoup trop forte pour les besoins courants du service au mouillage.

On voit par ce qui précède :

Que des appareils de même nature sont, les uns électriques, les autres à vapeur; rien ne paraît s'opposer à ce qu'ils soient tous électriques;

Que la mise en action des dynamos à vapeur sur un bâtiment aussi long et par la mise sous pression d'une chaudière trop puissante, doit conduire à des pertes de chaleur considérables.

Il nous semble que l'électrification générale des auxiliaires et l'emploi de groupes électrogènes avec moteurs Diesel doivent, dans les cas de l'espèce, permettre la réalisation d'économies importantes et apporter des simplifications dans le service général du bord.

YVES LE GALLOU,
Officier mécanicien
de la Marine, (réserve),
Ingénieur E. S. E.

Revue, analyses et informations

Tensions de service maxima admissibles dans les câbles (suite et fin) (1).

CALCUL DU DIAMÈTRE PARTICULIER DE CONDUCTEUR POUR LEQUEL LA CONTRAINTE MAXIMUM, SE PRODUISANT DANS UN CÂBLE TRIPLEX DE DIAMÈTRE TOTAL (MESURÉ SOUS LA GAÎNE) DE GRANDEUR FIXE, ACQUIERT SA VALEUR MINIMUM. — Dans un câble de diamètre total (mesuré à la surface extérieure de la ceinture isolante, sous la gaine), de grandeur fixe, la contrainte maximum, qui varie suivant le diamètre particulier du conducteur et, par conséquent, suivant l'épaisseur d'isolant employé, doit passer, ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte par un raisonnement simple, par une valeur minimum. On conçoit, en effet, que si l'on adopte pour l'isolant une forte épaisseur, on est conduit, en même temps, à une petite section pour le conducteur et, par conséquent, à une contrainte maximum

relativement élevée, par suite de la faible courbure de ce dernier. D'un autre côté, si l'on fait choix d'un conducteur de fort diamètre, il ne reste que peu de place pour loger l'isolant et la contrainte maximum, en raison de l'épaisseur réduite du diélectrique, atteint encore une valeur comparativement importante. Entre ces deux limites, il doit exister, vraisemblablement, une disposition optimum pour laquelle la contrainte maximum acquiert une valeur minimum.

Les auteurs indiquent une méthode graphique permettant de déterminer cette valeur minimum, pour un câble de diamètre donné, en se servant de la courbe représentative des contraintes maxima correspondant à la série de diamètres de conducteurs compatibles avec le diamètre extérieur du câble. Ils traitent ensuite le problème, par le calcul, à un point de vue général et aboutissent aux conclusions suivantes :

1° Dans le cas d'égalité entre l'épaisseur de la ceinture et celle de l'isolant entourant chaque conducteur, qui constitue, comme on l'a déjà indiqué, la pratique courante de la

(1) R. G. E., 8 avril 1932, t. XI, p. 509.

fabrication pour des câbles destinés à une transmission avec neutre isolé, la valeur minimum de la contrainte maximum est obtenue lorsque l'on a $D = 5,947 d$; dans cette formule D mesure le diamètre du câble (mesuré sous la gaine) et d le diamètre de chaque conducteur.

2° Dans les canalisations avec point neutre à la terre où l'on adopte, d'ordinaire, une épaisseur de ceinture comparativement plus faible que pour les applications du genre précédent, la valeur minimum de la contrainte maximum, pour les proportions d'épaisseur d'isolant couramment usitées (épaisseur de l'isolant par rapport au sol égale à 75 pour 100 de l'épaisseur d'isolant entre conducteurs) est acquise lorsque l'on a $D = 5,89 d$.

3° Enfin, pour les câbles destinés à transmettre l'énergie sous de basses tensions, dans lesquels il est possible de réduire encore l'épaisseur de l'isolant par rapport au sol et à la ramener à ne plus être que les 70 centièmes de l'épaisseur existant entre conducteurs, la relation caractéristique conditionnant la valeur minimum est $D = 5,88 d$.

Les conclusions ci-dessus supposent que l'on a affaire à des câbles établis avec des conducteurs ronds. Elles ne sont plus valables dans le cas de conducteurs affectant une forme sectorique. Avec cette disposition, il est possible, comme on le sait, d'augmenter l'épaisseur d'isolant, pour un même diamètre de câble, tout en utilisant des conducteurs de section comparativement plus forte. Cette solution paraît donc, à première vue, avantageuse; mais il convient de noter que, par contre, la courbure plus accusée, en certains points du contour des conducteurs, intervient, en l'espèce, d'une façon défavorable. En fait, d'après les résultats obtenus au cours d'essais entrepris par les ingénieurs de la Standard Underground Cable Co de Pittsburg Pa. (qui compte également les auteurs parmi ses collaborateurs), et dont la publication, vraisemblablement, sera faite sous peu, la valeur de la contrainte maximum peut être plus grande ou plus petite pour des conducteurs de forme sectorique, en raison de l'influence propre dérivant de la courbure, que pour des conducteurs ronds d'égale section, l'épaisseur d'isolant employée restant, dans les deux cas, la même. Pour une forme de secteur appropriée, faisant ressortir une contrainte maximum égale pour des câbles établis, respectivement, avec des conducteurs de section sectorique et circulaire, la réduction possible du diamètre du câble comportant des conducteurs du premier type peut être estimée à 5 pour 100 environ. Il en résulte que, si l'on utilise des conducteurs en forme de secteur, convenablement façonnés, les valeurs limites de la tension de service qui vont être indiquées plus loin sont susceptibles d'être majorées, dans la même proportion d'à peu près 5 pour 100.

Il existe un autre moyen, bien connu, de réduire l'importance de la contrainte dans les câbles et qui consiste à faire usage d'isolants de constantes diélectriques différentes, disposés suivant des couches successives; on arrive ainsi à diminuer la valeur de la tension appliquée aux couches intérieures. En adoptant ce procédé, et sans avoir à recourir à d'autres isolants que ceux actuellement à la disposition du constructeur, une augmentation des chiffres de tension maximum de service, donnés dans le paragraphe suivant, dans la proportion de 10 à 20 pour 100 environ apparaît, très probablement, réalisable.

TENSIONS MAXIMA DE SERVICE CORRESPONDANT A DES VALEURS LIMITES FIXÉES POUR LA CONTRAINTE MAXIMUM. — Les auteurs ont déjà signalé, dans un article dont il a été question antérieurement, que des câbles en service régulier depuis plusieurs années étaient exploités avec un régime de contrainte

relativement élevé, la valeur de l'effort diélectrique atteignant, dans les installations en question, 34,4 kv : cm pour des câbles isolés au papier, 36,7 kv : cm pour des câbles isolés à la toile vernie.

Suivant la tendance actuelle, il semble, toutefois, que la technique cherche à proposer, d'une façon ferme, une valeur limite déterminée pour la contrainte maximum, valeur limite destinée à servir de règle pour la construction des câbles et pour la fixation de la tension nominale de fonctionnement. En prenant pour valeur maximum de la contrainte admissible, soit le chiffre de 19,5 kv : cm indiqué par d'autres ingénieurs (1), soit celui de 25 kv : cm, suggéré par les auteurs dans une autre publication, il peut paraître intéressant de calculer les dimensions de câbles qui, dans ces conditions, sont susceptibles de présenter les meilleures garanties de sécurité dans l'exploitation. Si l'on se reporte à ce qui a été dit plus haut au sujet de la détermination du diamètre optimum de conducteur correspondant à un diamètre de câble donné, on voit qu'en se fixant une valeur limite pour la contrainte maximum il est possible de déduire immédiatement la tension maximum de service admissible pour le diamètre de câble considéré.

Dans cet ordre d'idées, on a rassemblé, dans la table III, les données relatives aux tensions de service maxima susceptibles d'être appliquées, pour des câbles employés avec des conduits de dimensions usuelles, dans l'hypothèse que la contrainte maximum est limitée à l'une ou l'autre des valeurs indiquées ci-dessus. Ces données ont été obtenues, pour les câbles triplex, en faisant état des relations corres-

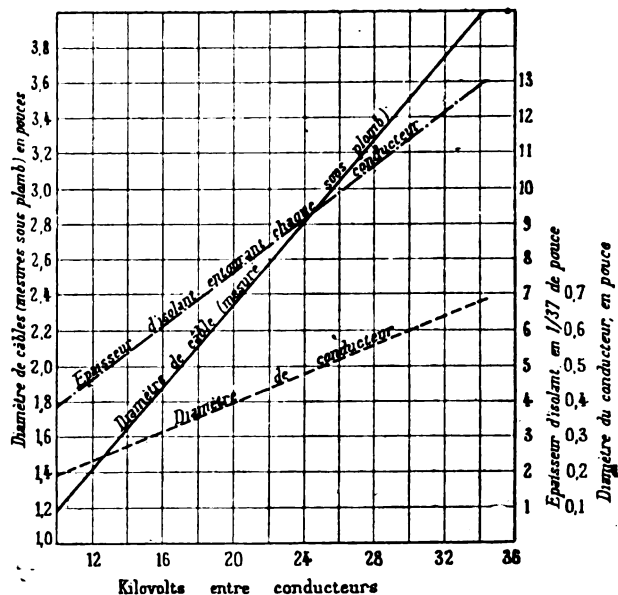


Fig. 3. — Courbes représentant, pour les câbles à trois conducteurs, en fonction des valeurs de tension de transmission : a) les plus petits diamètres de câble possible (mesurés sous plomb); b et c) les diamètres de conducteur et les épaisseurs d'isolant autour de chaque conducteur correspondant aux diamètres minima de câble.

pondant aux diamètres minima de câble trouvées, par le calcul, dans la section précédente. En les prenant comme base, on a tracé pour les câbles de type différent des courbes représentant, dans les cas où la contrainte maximum ne dépasse pas 19,5 kv : cm ou 25 kv : cm, les valeurs minima

(1) CLARK et SHANKLIN. *Proceedings A. I. E. E.*, juin 1919.

de diamètre des câbles, en fonction des tensions de service en usage dans la pratique courante. La figure 3 reproduit une de ces courbes correspondant à une contrainte maximum limite de 25 kv : cm.

Des courbes analogues ont été établies pour les câbles, de construction spéciale proposés par Hochstädter et dénommés communément, câbles type « H » ; dans cette disposition, l'isolant entourant chaque conducteur est recouvert d'une feuille de cuivre et les trois conducteurs, ainsi revêtus, sont câblés ensemble, sans adjonction de ceinture isolante. Si l'on se

réfère à la formule déjà signalée, au début, pour les câbles à conducteur unique et qui est valable pour les câbles type « H », on voit que la relation conditionnant la valeur minimum de la contrainte maximum pour ce genre de câbles

est $\frac{R}{r} = 2,718 = e$, base des logarithmes naturels. Pour l'établissement des courbes relatives à ces câbles, on a supposé que les feuilles de cuivre, employées pour le revêtement de chacun des conducteurs isolés, avaient une épaisseur de 0,13 mm.

TABLEAU III.

Tensions maxima de service admissibles (valeurs efficaces) pour des câbles à trois conducteurs, dans le cas où la contrainte maximum ne dépasse pas des valeurs limites données,

| DIAMÈTRE de câble mesuré sous la gaine mm | TENSION DE SERVICE EN KILOVOLTS POUR UNE CONTRAINTE MAXIMUM LIMITE DE | | DIAMÈTRE de chaque conducteur mm | SECTION d'usage courant la plus voisine mm ² | ÉPAISSEUR D'ISOLANT mm | | TYPE DE CÂBLE |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------|------------------|
| | 19,5 kv : cm | 25 kv : cm | | | conducteur | ceinture | |
| 60 | 15,73 | 20,14 | 10,11 | 70 | 6,06 | 6,06 | A |
| | 17,55 | 22,37 | 10,19 | | 7,17 | 3,59 | B |
| | 17,96 | 23,03 | 10,21 | | 7,45 | 2,98 | C |
| | 17,13 | 21,97 | 10,15 | | 8,72 | 0 | D |
| 75 | 19,66 | 25,18 | 12,63 | 95 | 7,58 | 7,58 | A |
| | 21,94 | 28,10 | 12,73 | | 8,96 | 4,48 | B |
| | 22,46 | 28,80 | 12,78 | | 9,31 | 3,72 | C |
| | 21,46 | 27,51 | 13,71 | | 10,92 | 0 | D |
| 90 | 23,60 | 30,21 | 15,16 | 150 | 9,09 | 9,09 | A |
| | 26,33 | 33,70 | 15,28 | | 10,75 | 5,38 | B |
| | 26,95 | 34,56 | 15,31 | | 11,16 | 4,47 | C |
| | 25,79 | 33,07 | 15,27 | | 13,12 | 0 | D |

A, isolement par rapport à la terre égal à l'isolement entre conducteurs.

B, isolement par rapport à la terre égal à 75 pour 100 de l'isolement entre conducteurs.

C, isolement par rapport à la terre égal à 70 pour 100 de l'isolement entre conducteurs.

D, câble type « H ».

A moins qu'il ne soit possible d'établir des câbles capables de supporter des contraintes plus élevées que ceux construits actuellement, ou d'installer des conduits de plus grande dimension et d'assurer, conjointement, la fabrication et la pose de câbles de plus fort diamètre, il est permis, sur la base des chiffres contenus dans le tableau III, de dégager un certain nombre de conclusions précises et, notamment, les suivantes :

1° La tension maximum de service admissible pour un câble à trois conducteurs, canalisant des courants triphasés, dans un système de transmission avec point neutre isolé, est de 23,3 kv, si la contrainte maximum limite est fixée à 19,5 kv : cm, ainsi que l'ont proposé certains expérimentateurs ; elle est de 29,9 kv, si la limite de la contrainte est portée à 25 kv : cm, chiffre d'effort observé dans nombre de câbles ayant fonctionné d'une façon satisfaisante pour des services d'une durée atteignant vingt ans, ainsi que les auteurs ont eu l'occasion de le signaler dans une publication antérieure. Les valeurs de tensions indiquées s'appliquent à des conducteurs à surface unie et de section circulaire ; elles sont seulement valables dans le cas où l'on suppose que la contrainte maximum, plutôt que la contrainte moyenne ou la contrainte dans l'intérieur ou dans le voisi-

nage des intervalles de bourrage existant entre conducteurs, représente le facteur déterminant ;

2° Dans un câble faisant partie d'un système de transmission avec point neutre à la terre et dans lequel l'isolement par rapport à la terre n'atteint que les 70 centièmes de l'isolement entre conducteurs, les tensions maximum admissibles sont, dans les mêmes conditions de contraintes limites, 26,7 kv et 34,2 kv respectivement. Sous les réserves spécifiées dans le paragraphe précédent, au sujet de progrès éventuels dans la technique de la fabrication des câbles, on en déduit donc que 34,2 kv est une limite de tension de transmission qui ne saurait être dépassée avec des câbles à trois conducteurs canalisant des courants triphasés, sans franchir en même temps, pour la contrainte, le chiffre de 25 kv : cm.

EXEMPLE D'UN DÉFAUT DE GENRE PARTICULIER SUSCEPTIBLE DE SE PRODUIRE DANS LES CÂBLES A TROIS CONDUCTEURS. — La presse technique, au cours de ces dernières années, a publié quelques données plus ou moins complètes au sujet des phénomènes de carbonisation observés dans la partie centrale des câbles triplex et provoqués par les effets combinés de la chaleur dégagée par le courant et par les pertes diélectriques développées dans l'isolant. La figure 4, qui a été établie d'après les résultats donnés par la dissection minutieuse d'un câble présentant un commencement d'avarie de ce genre, met en lumière les caractères particuliers des défauts de l'espèce signalée. Le câble en question, suspendu dans l'air, à une température de 21° C, a été soumis, pendant cent vingt-six heures à un essai à vide, la tension triphasée

appliquée étant assez élevée pour donner naissance à des défauts provoqués par l'ionisation. La matière constituant l'isolant était à base d'une composition minérale et les pertes diélectriques spécifiques restaient faibles, même aux hautes températures. Des marques de carbonisation apparaissent très nettement, sur la figure, dans l'intervalle du bourrage central, entre les conducteurs; à travers l'isolant entourant l'un des conducteurs, cette carbonisation a été trouvée intéresser presque exclusivement la surface de chaque couche de papier; aucune décharge ne s'est d'ail-

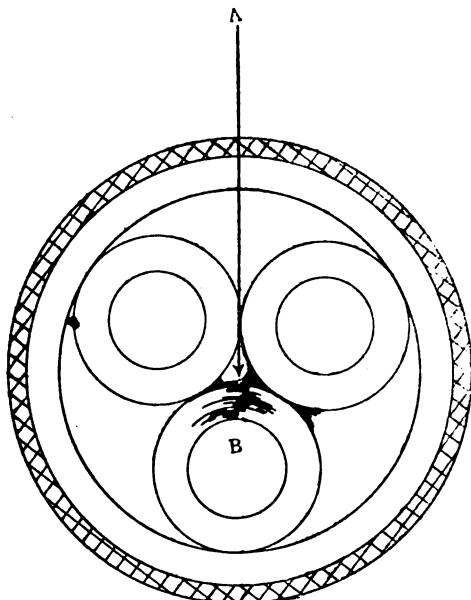


Fig. 4. — Effets produits par une contrainte de valeur élevée dans un câble à trois conducteurs.

leurs produite entre les points A et B, une seule couche de papier ayant été l'objet d'une perforation; le câble n'a point subi non plus d'avarie définitive dans la région du défaut, mais on reconnaît, sur la figure, l'existence d'un commencement de claquage de l'isolant au point qui est le siège de la contrainte maximum.

CONSIDÉRATIONS SPÉCIALES RELATIVES AUX CÂBLES À CONDUCTEUR UNIQUE ET AUX CÂBLES TYPE « H ». — Les auteurs ont déjà signalé, dans un article antérieur, auquel il a été fait allusion au début de ce mémoire, que les résultats d'exploitation de câbles en service réel avaient montré que des contraintes aussi élevées que 40 kv : cm pouvaient être considérées comme admissibles, pour des câbles à conducteur unique. Ces derniers câbles peuvent, d'ailleurs, pour nombre de raisons, être soumis à des efforts diélectriques plus importants que les câbles triplex; l'une des principales réside dans le fait que, dans les câbles à conducteur unique, les contraintes s'exercent normalement à la surface des couches de papier, tandis qu'il existe, dans les câbles à trois conducteurs, des composantes tangentielles de valeur notable. Un des points les plus faibles, dans un câble triplex, est constitué par l'espace de bourrage entre les conducteurs, étant donné surtout que les propriétés de l'isolant employé pour le remplissage de cet intervalle n'ont point été améliorées au même degré que celles des autres matières utilisées pour l'isolement des autres parties du câble. Or, les câbles à conducteur unique, ne comportant pas d'intervalle de bourrage du genre men-

tionné, sont, en conséquence, à l'abri des inconvénients qui résultent de l'action des contraintes, dépassant la limite localement admissible, qui se produisent à l'intérieur ou dans le voisinage de ces intervalles.

Il en est de même pour les câbles type « H » qui peuvent, en principe, être assimilés à des câbles à conducteur unique, pour ce qui a trait à la grandeur et à la direction des contraintes; il est donc raisonnable de supposer, dans ces conditions, qu'ils sont susceptibles de supporter la même valeur de contrainte que ces derniers. On remarquera, en outre, que ces câbles peuvent fonctionner à un taux de pertes diélectriques plus élevé et à une densité de courant plus forte que les câbles triplex du type ordinaire en raison de la présence du revêtement en cuivre enveloppant chaque conducteur isolé, revêtement qui a pour effet de conduire la chaleur dégagée en dehors de la zone dangereuse, en l'espèce, la partie centrale du câble. Des contraintes de 30 à 40 kv : cm, et même davantage, ne paraissent donc pas exagérées pour ce genre de câble, puisque, au surplus, des câbles à trois conducteurs, du modèle ordinaire, ont pu résister, pendant des années, à des efforts très voisins des chiffres indiqués.

Sur la base d'une contrainte maximum de 40 kv : cm, le calcul montre que la tension maximum de service admissible, pour les câbles type « H », sont de 35,1 kv, 44,0 kv et 52,9 kv respectivement pour des diamètres extérieurs de câble (mesurés sous la gaine) de 60 mm, 75 mm et 90 mm.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES. — Il semble qu'à la lumière des résultats obtenus, quant aux valeurs limites de tension, dans l'étude qui fait l'objet du présent mémoire, on soit fondé à émettre les conclusions générales suivantes : pour les câbles à haute tension de l'avenir, le type ordinaire de câble à trois conducteurs continuera à être utilisé jusqu'à 30000 v seulement, à moins que l'on ne lui substitue un modèle amélioré, possédant des caractéristiques plus avantageuses; le câble type « H » sera employé, depuis quelques kilovolts jusqu'à 50000 v en raison des intensités de courant comparativement plus élevées que ce genre de câble est susceptible de transmettre et de la forte valeur de contrainte qu'il est capable de supporter; pour 50000 v et au-dessus, on aura recours à trois câbles à conducteur unique, chaque conducteur étant câblé autour d'un noyau en fibre, en vue d'en accroître le diamètre. On pourrait, évidemment, utiliser trois câbles à conducteur unique, pour des tensions plus basses; mais, en raison des difficultés causées par les courants et les tensions induites dans la gaine avec ces câbles et du coût plus élevé des installations correspondantes, les applications de ce genre ne seraient probablement pas avantageuses au-dessous de la limite supérieure de tension indiquée; il faut cependant excepter le cas où la puissance à transmettre est assez importante pour rendre nécessaire l'emploi de plus de trois câbles à trois conducteurs, de la plus forte section reconnue pratiquement admissible.

APPENDICE A. Contrainte maximum dans les câbles à conducteur unique. — Soit à déterminer la contrainte maximum dans un câble à conducteur unique toronné, de 120 mm² de section, isolé pour 10 000 v et dans lequel l'épaisseur d'isolant est de 7 mm. Le diamètre d'un conducteur toronné de 120 mm² de section est 11,23 mm. Le rapport entre l'épaisseur d'isolant et le diamètre du conducteur est donc 0,492. L'ordonnée correspondant à cette valeur dans la courbe A, figure 1, est 1,435. La contrainte moyenne dans le câble étant de : $\frac{10}{0,7} = 14,23$ kv : cm, on trouve, pour la contrainte maximum, la valeur $14,23 \times 1,435 = 20,5$ kv : cm.

APPENDICE B. Contrainte maximum dans les câbles à trois conducteurs. — Soit à déterminer la contrainte maximum dans un câble à trois conducteurs, établi pour 25 000 v et comportant les caractéristiques suivantes : section de chaque conducteur 95 mm², correspondant à un diamètre de 12,6 mm ; épaisseur de l'isolant autour de chaque conducteur, 7 mm ; épaisseur de la ceinture entourant les trois conducteurs, 7 mm.

D'après ce qui a été dit dans le corps du mémoire, il convient, tout d'abord, de calculer l'épaisseur d'isolant du câble à conducteur unique, équivalent au câble à trois conducteurs considéré : cette épaisseur est donnée par la distance existant entre l'un des conducteurs et le centre du câble ; elle peut être obtenue à l'aide de la formule $E = 1,155t + 0,0774d$, dans laquelle E désigne la distance cherchée ; t , l'épaisseur d'isolant autour de chaque conducteur et d , le diamètre d'un conducteur. Elle est, dans le cas envisagé, égale à 9,07 mm. Cet élément une fois connu, la contrainte maximum dans le câble équivalent peut être calculée ainsi qu'il a été expliqué dans l'appendice A.

Le rapport entre l'épaisseur d'isolant et le diamètre de conducteur est ici

$$\frac{9,07}{12,6} = 0,72.$$

L'ordonnée de la courbe A, figure 1, correspondant à cette valeur est 1,61. La contrainte moyenne dans le câble est égale à

$$\frac{25}{\sqrt{3} \times 0,907} = 15,92 \text{ kv : cm.}$$

La contrainte maximum est donc

$$15,92 \times 1,61 = 25,62 \text{ kv : cm.}$$

Mais on sait, d'après ce qui a été exposé au sujet de l'application de la méthode, qu'il est nécessaire, pour obtenir le résultat final, de faire intervenir un facteur de correction dépendant du rapport existant, dans l'exemple considéré, entre l'épaisseur d'isolant entourant chaque conducteur et le diamètre de ce dernier ; ce rapport est égal, dans le cas envisagé à

$$\frac{7}{12,6} = 0,555.$$

La valeur du facteur de correction correspondant déduite, par interpolation, des données numériques fournies dans le corps du mémoire, est de 1,016. La contrainte maximum est donc

$$1,016 \times 25,62 = 26,0 \text{ kv : cm.}$$

Ce résultat concorde exactement avec celui obtenu à l'aide de la table 1 ; on trouve, en effet, dans cette dernière que le coefficient spécifique correspondant à un câble de 95 mm² de section, comportant une épaisseur d'isolant de 14 mm entre conducteurs, est de 1,04 ; on en conclut que la contrainte maximum est de

$$25 \times 1,04 = 26,0 \text{ kv : cm.}$$

APPENDICE C. Contrainte maximum sur les conducteurs du côté de la gaine, dans les câbles triplex. — Soit à déter-

miner la contrainte maximum du côté de la gaine, dans un câble à trois conducteurs, établi pour la même tension et les mêmes épaisseurs d'isolant que dans le cas étudié dans l'appendice B, mais comportant des conducteurs de 120 mm² de section (diamètre 14,23 mm). L'épaisseur totale de l'isolant entre les conducteurs et la gaine est de 14 mm. Le rapport entre cette épaisseur et le diamètre d'un conducteur est donc

$$\frac{14}{14,23} = 0,984.$$

L'ordonnée de la courbe B, figure 1, correspondant à cette valeur est de 1,694. La contrainte moyenne dans le câble est égale à

$$\frac{25}{\sqrt{3} \times 1,4} = 10,3 \text{ kv : cm.}$$

La contrainte maximum est donc

$$10,3 \times 1,694 = 17,5 \text{ kv : cm.}$$

Comme vérification, on peut également faire le calcul en s'aidant de la table II ; on trouve dans cette dernière que le coefficient spécifique relatif à un câble de 120 mm² de section et comportant une épaisseur d'isolant de 14 mm entre chaque conducteur et la gaine est de 0,70 ; celui-ci multiplié par 25 donne 17,5, soit un résultat identique au précédent. — L. D.

Le système Alexanderson pour les communications radiotélégraphiques à grande distance (1).

HISTORIQUE. — Le système de radiocommunications que nous allons décrire a été imaginé au cours de ces dernières années par la General Electric Company (Amérique), sous la direction de M. Alexanderson. Il a été adopté par la Radio Corporation d'Amérique, qui a récemment absorbé les intérêts de la Compagnie Marconi américaine et qui a l'intention d'employer ce système dans toutes les stations de grande portée. Ce système Alexanderson a, en outre, été adopté pour les installations futures de la compagnie Marconi anglaise. Nous allons décrire succinctement l'installation de New-Brunswick qui comporte un tel système.

SYSTÈME ALEXANDERSON. — Les caractéristiques du système sont les suivantes :

1° *L'alternateur* qui engendre des courants directement à la fréquence des signaux, et non par l'intermédiaire de « circuits réflecteurs » ou de transformateurs de fréquences associés à l'alternateur. La fréquence ne dépend que du nombre de pôles inducteurs sur la machine et de la vitesse à laquelle tourne son rotor.

2° *L'amplificateur magnétique*, qui permet de régler, sans formation d'arcs, l'énergie fournie par l'alternateur dans le cas de la radiotélégraphie, et de moduler l'énergie fournie par l'alternateur dans le cas de la radiotéléphonie.

3° *L'antenne à accords multiples* (ou à terres multiples) qui permet de réduire les résistances passives et d'augmenter le rendement des longues antennes à sommet plat.

PARTICULARITÉS DE L'ALTERNATEUR. — L'alternateur Alexanderson est du type « à fer tournant ». Le rotor (fig. 1) est

(1) *Electrician*, 9 et 16 décembre 1921, t. LXXXVII, p. 730-733 et 759-761, 7 000 mots, 15 fig. D'après les articles de E.-F.-W. Alexanderson et d'autres auteurs, parus dans la *G. E. R.*

un disque solide en acier, près de la périphérie duquel plusieurs centaines de pôles sont obtenus en faisant des encoches radiales de chaque côté du disque, les encoches étant remplies ensuite de matériaux non magnétiques, de façon à présenter une surface lisse et à réduire le frottement

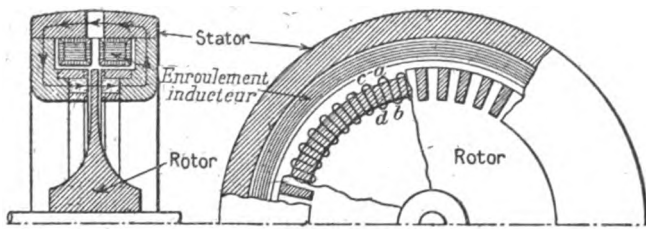


Fig. 1. — Section de l'alternateur Alexanderson.

de l'air au minimum. Extérieurement et embrassant la périphérie du rotor, se trouve une culasse lamellée entre les faces de laquelle passe la portion rainurée du rotor. Sur la culasse est enroulée circonférentiellement une bobine inductrice alimentée par du courant continu et qui produit un champ magnétique passant par les faces de la culasse et à travers

le rotor, comme l'indiquent les flèches de la figure. L'enroulement d'induit est placé dans des encoches taillées radialement dans les faces de la culasse de chaque bord du disque ; il n'y a qu'un conducteur par encoche, enroulé en zig-zag. L'induit et l'inducteur sont donc fixes, une variation périodique du flux à travers l'induit étant produite par les variations de la réluctance quand les pôles du rotor se déplacent devant les pôles du stator entre les encoches de l'induit.

DIMENSIONS DES ALTERNATEURS. — Les alternateurs Alexanderson construits actuellement sont de 5, 25 et 200 kw. Pour permettre une gamme de fréquences, les alternateurs de 25 et de 200 kw sont construits avec des nombres différents de pôles, et avec des rapports d'engrenages différents entre l'alternateur et le moteur qui l'entraîne. C'est ainsi que la machine de 200 kw peut donner n'importe quelle longueur d'onde comprise entre 10 500 et 25 000 m.

RÉGULATEUR AUTOMATIQUE DE VITESSE. — Toute variation de vitesse de l'alternateur le désaccorderait d'avec le circuit accordé d'antenne. Il est donc nécessaire de maintenir la vitesse de la machine absolument constante, et ceci est réalisé à l'aide du régulateur automatique (fig. 2). Une des

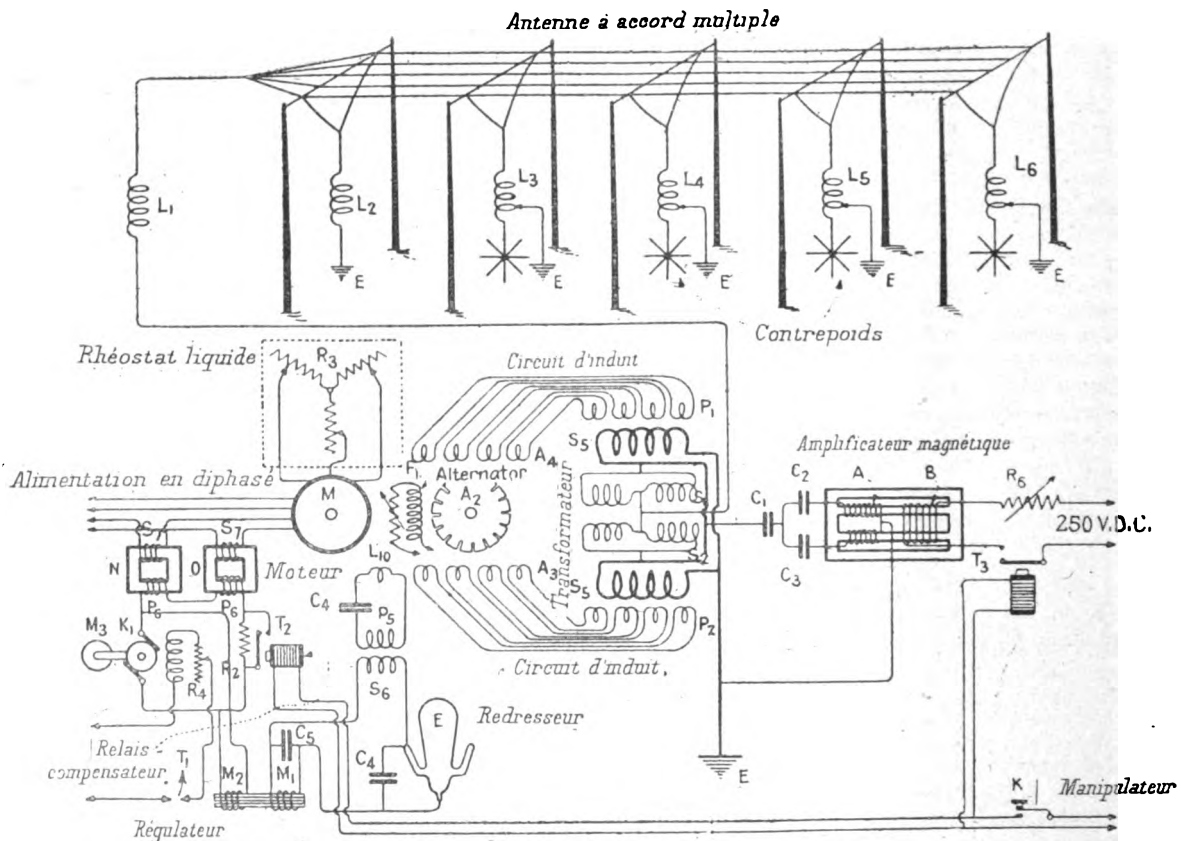


Fig. 2.

bobines de l'induit de l'alternateur L_{10} est destinée uniquement à fournir le courant pour assurer le réglage de la vitesse ; elle est connectée à un condensateur C_4 et à une self-induction P_5 , le circuit étant accordé à une fréquence légèrement supérieure à celle pour laquelle doit fonctionner

l'alternateur. La bobine S_6 est associée en couplage serré à P_5 , mais ce couplage n'est cependant pas assez serré pour affecter de façon appréciable l'accord du circuit résonant ; elle est connectée par l'intermédiaire d'un redresseur E (thermoionique ou à vapeur de mercure) à la bobine de contrôle

de forme spéciale du régulateur Tirrill. M_1 et M_2 représentent les deux bobines de contrôle usuelles du régulateur et T_1 , ses contacts vibrants qui font varier le champ d'une dynamo à courant continu K_1 . Celle-ci envoie du courant aux enroulements P_6 sur les bobines de self-induction variables N et O , les enroulements S_7 étant connectés en série avec les conducteurs envoyant le courant au moteur d'induction M entraînant l'alternateur, un dans chaque phase. R_2 est une résistance liquide dans le circuit du rotor du moteur.

L'impédance des bobines de self-induction est modifiée en faisant varier le courant continu qui passe dans P_6 , ce qui modifie le flux magnétique dans les noyaux de fer de N et O et, par suite, la perméabilité du fer. Quand le courant continu d'excitation est à sa valeur maximum, le noyau de fer est saturé et sa perméabilité est à peine plus grande que celle de l'air, de sorte que l'impédance des bobines de self-induction tombe à un minimum ; quand le courant continu excitateur est nul, l'impédance est maximum, et toute valeur intermédiaire de l'impédance peut être obtenue en réglant le courant continu excitateur à une valeur intermédiaire convenable.

Le courant de haute fréquence dans le circuit résonant $L_{10} C_1 P_3$ s'élève très rapidement à un maximum au point de résonance, c'est-à-dire à une vitesse légèrement supérieure à la normale, de sorte que, pour l'intervalle de fonctionnement du régulateur de vitesse, le courant de contrôle augmente très rapidement avec l'accroissement de vitesse du moteur. Supposons maintenant que la vitesse du moteur augmente, soit par suite de la diminution de la charge sur l'alternateur quand on ouvre le manipulateur, soit pour toute autre cause, le courant dans le circuit résonant et par suite le courant redressé fourni à M_1 augmente, le régulateur Tirrill réduit le champ de K_1 , le courant continu dans les bobines P_6 est réduit, l'impédance des bobines S_7 est accrue, ce qui tend à réduire la vitesse du moteur et à la ramener à sa valeur normale. Si la vitesse du moteur diminue au contraire, l'effet opposé se produit.

L'effet des changements de charge sur l'alternateur, par suite de la fermeture ou de l'ouverture du manipulateur, est en outre compensé par un relais de réglage qui, quand le manipulateur est fermé, ferme les contacts T_2 qui court-circuitent une résistance R_1 en série avec les bobines P_6 . Le régulateur maintient la vitesse constante à moins de 0,1 pour 100.

L'AMPLIFICATEUR MAGNÉTIQUE. — L'amplificateur magnétique, comme les bobines de self-induction que nous venons de décrire, fonctionne sur le principe de la variation de perméabilité, obtenue par variation du courant d'excitation de contrôle. Dans ce cas, deux noyaux ayant chacun un enroulement séparé à courant alternatif A (fig. 2) sont tous deux magnétisés par un enroulement commun B . Le courant de contrôle passant par B est interrompu par le manipulateur, ou est modulé par un microphone, par l'intermédiaire d'amplificateurs à tubes à vide. Toute variation dans le courant de contrôle dans B produit une variation correspondante dans l'impédance des bobines A ; celles-ci sont connectées à travers l'enroulement S_5 sur le transformateur-alternateur. Quand le manipulateur est ouvert, le relais T_3 est fermé et un courant continu passe dans B , courant suffisant pour saturer le noyau et réduire l'impédance des enroulements A à celle de bobines sans

noyau de fer ; les enroulements A court-circuitent alors S_5 ; c'est-à-dire que l'alternateur est court-circuité tandis qu'en même temps le circuit de l'antenne est désaccordé. La tension de l'alternateur est réduite à une faible valeur, de même que le courant dans l'antenne. Quand le manipulateur est fermé, T_3 interrompt le courant dans B , l'impédance des enroulements A devient si élevée qu'elle détourne un courant relativement petit de l'alternateur dont la tension s'élève à la valeur normale, tandis qu'en même temps le système de l'antenne retourne à un état de résonance et l'énergie débitée par l'alternateur circule dans le système de l'antenne.

Le gros avantage de l'amplificateur magnétique est de permettre de contrôler, très rapidement et avec très peu d'étincelles aux contacts du relais ou du manipulateur, de gros courants de radiofréquence. On peut donc obtenir ainsi des transmissions rapides. L'amplificateur a fonctionné expérimentalement à des vitesses dépassant 500 mots par minute.

L'ANTENNE A ACCORDS MULTIPLES. — L'antenne de New-Brunswick est une antenne horizontale longue et basse, de 1500 m de longueur, de 180 m de largeur et haute de 120 m. La résistance primitive de l'antenne était de 3,7 ohms. Pour la réduire, Alexanderson connecta six inductances entre l'antenne et la terre à des intervalles égaux. L'action de ces inductances est analogue à celle des bobines de Pupin sur une ligne téléphonique, d'autant plus que leur réactance de self-induction à la terre neutralise la réactance de capacité de l'antenne plate en six points. Chaque bobine d'inductance est accordée sur la longueur d'onde fondamentale de la portion adjacente de l'antenne (dont la longueur est égale au sixième de la longueur totale), de sorte que chaque bobine doit avoir six fois l'inductance qu'aurait une seule bobine d'accord pour l'antenne entière. Le circuit est alors l'équivalent de six antennes, de 250 m de longueur, fonctionnant

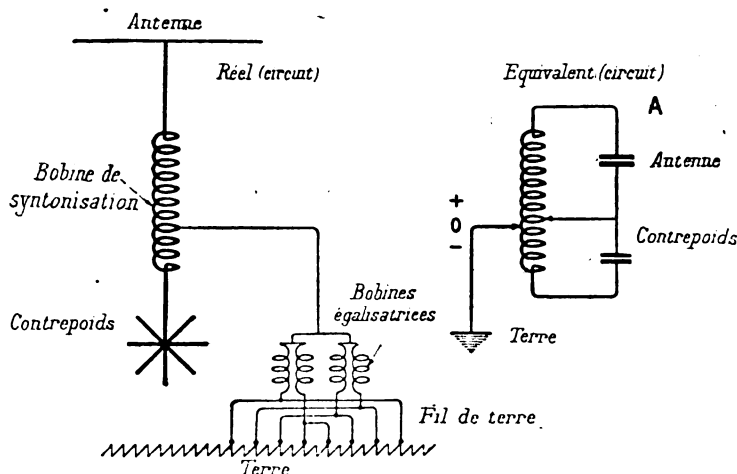


Fig. 3. — Schéma de l'antenne et de ses connexions à la terre. Circuit équivalent.

en parallèle, les rayonnements des six antennes s'ajoutent les uns aux autres. Le courant oscillatoire dans chacun des six circuits résonants, étant, par exemple, de 100 A, l'effet est équivalent à celui d'un courant de 600 A envoyé dans la seule antenne de 1500 m.

PRISES DE TERRE. — La mise à la terre est faite par l'intermédiaire d'un réseau de fils et de plaques de zinc enterrées

dans le sol autour de la station. Il y a aussi seize conducteurs en cuivre parallèles et enterrés sous l'antenne à 30 cm dans le sol. Mais on constata dès le début que les fils intérieurs transportaient la majeure partie du courant, parce qu'ils offraient moins d'impédance que les fils extérieurs; afin d'égaliser les courants dans les fils, des bobines égalisatrices furent insérées dans la connexion à la terre, comme l'indique la figure 3. L'addition des bobines égalisatrices réduisit la résistance équivalente de l'antenne de 0,9 à 0,7 ohm.

Une meilleure distribution des courants telluriques fut encore obtenue par l'installation d'un contrepoids consistant en fils de cuivre disposés en étoile à quelques pieds au-dessus du sol. Ce contrepoids était connecté à la partie inférieure de chaque bobine d'accord (fig. 3), la prise de terre étant faite en un point tel que la moitié, environ du courant dans les fils de desohte passait dans les fils de terre et l'autre moitié, dans le contrepoids. Le circuit équivalent de l'antenne à accords multiples avec contrepoids est représenté figure 4. L'addition du contrepoids réduisit la résistance équivalente de l'antenne à 0,5 ohm, répartie approximativement comme suit : résistance de rayonnement 0,07 ohm; bobines d'accord et isolement 0,10 ohm; résistance de terre 0,33 ohm; résistance totale multiple, 0,50 ohm.

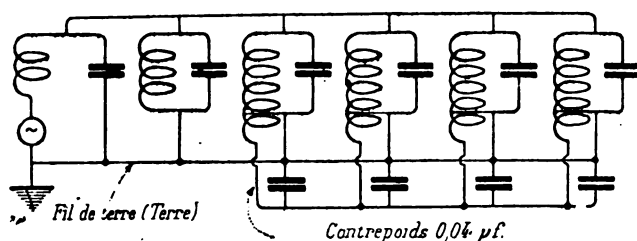


Fig. 4. — Circuit équivalent de l'antenne à accords multiples et avec contrepoids.

RENDEMENT DE RAYONNEMENT. — Le rendement de rayonnement de l'antenne à accords multiples de New-Brunswick est de 14 pour 100, pour $\lambda = 13\,900$ m, au lieu de 2,6 pour 100 pour une antenne correspondante à terre unique. Pour $\lambda = 8\,000$ m, ce rendement est de 33 pour 100 et pour $\lambda = 2\,500$ m de 70 pour 100. A cause de l'absorption qui diminue avec la longueur d'onde, les meilleures longueurs d'onde pour les communications transocéaniques sont celles comprises entre 10 000 et 20 000 m, bien que le rendement de rayonnement diminue quand la longueur d'onde augmente.

LE RÉCEPTEUR TYPE « BARRAGE »; — Le récepteur type « Barrage » a été imaginé pour éliminer les brouillages. Deux longs fils horizontaux A_1 et A_2 (fig. 5) sont employés dans le prolongement l'un de l'autre, de chaque bord de la station réceptrice. La longueur de chacun d'eux est de préférence le quart de la longueur d'onde à recevoir. Chacune de ces antennes est couplée par des bobines à un dispositif de commutation de phase consistant en deux bobines fixes connectées en parallèle et en une bobine secondaire tournante; un condensateur en série avec l'une des bobines fixes produit une différence de phase entre les courants qui circulent dans les deux bobines; en faisant tourner la bobine secondaire, on

peut faire prendre à la force électromotrice induite dans cette bobine toute relation de phase voulue avec la tension primaire. Les deux bobines secondaires sont connectées en

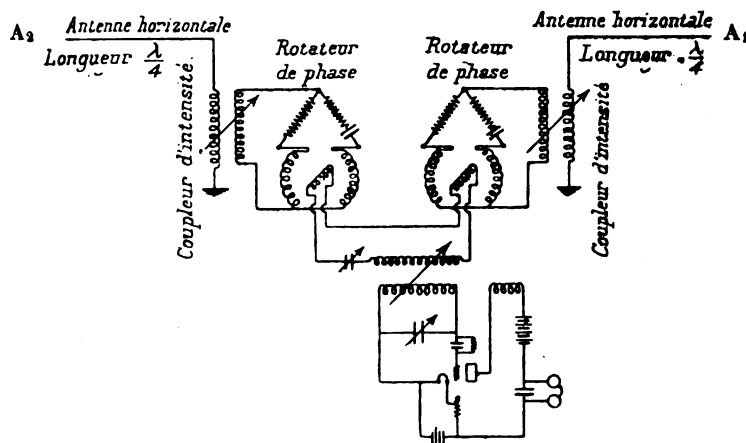


Fig. 5. — Schéma du récepteur type « Barrage ».

série à un groupe récepteur ordinaire. Dans ces conditions, toute onde de brouillage, venant d'une direction différente de celle de la source des signaux à recevoir, produira dans les deux antennes des courants ayant une relation de phase différente de celle entre les courants produits par le signal à recevoir. En réglant convenablement les secondaires des deux « rotateurs de phase » ainsi que le couplage entre les bobines, il sera possible de neutraliser les signaux brouilleurs dans les deux antennes, mais non les signaux à recevoir. A l'aide d'un double jeu de « rotateurs de phase », on peut éliminer les signaux brouilleurs venant de deux directions différentes, et le principe peut être encore étendu davantage si on le désire.

On avait primitivement projeté de monter les fils de l'antenne sur des poteaux, mais par la suite on essaya de les poser simplement sur le sol, et les résultats furent entièrement satisfaisants.

Des antennes de ce genre sont apériodiques, ce qui rend leur équilibrage plus facile que si elles étaient accordées; les dispositifs de commutation de phase sont aussi apériodiques, de sorte que les forces électromotrices dans les antennes apériodiques sont équilibrées avant d'avoir eu le temps de créer des courants oscillatoires. Le réglage est très facile à faire, même par un opérateur inexpérimenté, et il est parfaitement stable.

G. M.

Détérioration des câbles par les courants vagabonds ⁽¹⁾.

La question de la détérioration des câbles électriques et des mesures à prendre pour y remédier peut être considérée sous plusieurs points de vue différents. Aussi l'auteur a-t-il proposé un referendum pour connaître le résultat des remarques auxquelles les différentes installations ont donné lieu.

Les câbles sont exposés à être corrodés par les courants vagabonds des chemins de fer électriques, par les courants provenant des canalisations voisines, par les courants de

(1) C. MICHALKE. *E. T. Z.*, 15 décembre 1921, t. XLII, p. 1451-1454, 2 figures.

l'enveloppe de plomb et de l'armure dus à des défauts du câble et par des actions chimiques produites par un sol défavorable.

Les mesures de précaution envers un câble consistent, en grande partie, dans la façon de le poser; ou bien on l'isole du sol et on sectionne sa gaine de plomb et son armure; ou bien on connecte les armures entre elles et on met à la terre l'enveloppe de plomb seule, ou encore on met les deux à la terre. Ces deux moyens ont leurs avantages et leurs inconvénients et aucun ne présente une grande supériorité sur l'autre.

Dans le premier mode de pose, les enveloppes de plomb restent séparées dans les manchons de raccordement ou les boîtes de branchement; elles ne sont pas réunies conductivement entre elles et elles sont isolées de toutes les parties métalliques. Quand la pose a lieu avec mise à la terre, alors dans tous les manchons ou les boîtes de jonction, les enveloppes de plomb sont connectées entre elles seulement ou avec les armures; puis, on les relie aux manchons qui sont mis en relation avec des plaques de terre. Pour le courant continu, on emploie indifféremment ces deux moyens, tandis que pour le courant alternatif on se borne à l'interconnexion et à la mise à la terre, non seulement en haute tension, mais encore en basse tension. En cas de défaut dans le câble, des intensités ou des tensions exagérées peuvent se produire dans l'enveloppe par des effets de capacité ou d'induction, ou par suite d'une répartition irrégulière du champ ou d'une conductibilité trop grande; elles sont rendues inoffensives par la mise à la terre et cette mesure est prescrite chaque fois qu'on risque de toucher un câble. Dans la pose de câbles destinés au courant alternatif, on ne prend pas de précautions contre une corrosion éventuelle, car aucune attaque électrolytique n'est à craindre à la fréquence usuelle de 50 p. s. De plus, le passage du courant alternatif du fer dans la terre ne donne lieu à aucune réaction à cause du faible pouvoir de diffusion de l'électrolyte, la terre.

L'artifice du sectionnement de la gaine de plomb a l'avantage de diminuer la conductibilité de l'armure à la terre, qui croît avec la longueur de l'armure quand elle ne comporte aucune discontinuité. L'influence des courants de fuite varie comme le carré de cette longueur; aussi comprend-on l'avantage de ce sectionnement. Lorsqu'un accident se produit, l'enveloppe est mise sous tension, mais seulement dans la section du défaut comprise entre deux manchons isolants. En général, on peut admettre que l'intensité du courant au défaut est limitée par la résistance même de ce défaut. Si, par le contact survenu, l'armure est portée à un potentiel positif, le courant part de l'armure et celle-ci est rongée; mais si la gaine est sectionnée, cette action ne s'exerce que sur une partie. Dans le cas de l'interconnexion, au contraire, elle se fait sentir sur toute l'étendue du câble. Il faut donc choisir entre une corrosion active, mais locale, ou faible, mais générale. Lorsque l'enveloppe est isolée, elle risque d'être mise sous tension lors d'un accident; des courts-circuits peuvent alors se produire dans les manchons s'ils ne sont pas protégés par un isolement soigné. Quand la gaine de plomb et l'armure de fer ne sont pas reliées électriquement, la haute tension qui peut s'établir entre le plomb et le fer risque d'attaquer l'un des deux métaux, s'ils ne sont pas parfaitement isolés l'un de l'autre. D'autres inconvénients sont encore à craindre du fait de la mise sous tension de l'armure. Si les câbles ne sont pas bien séparés dans leur tranchée et s'ils se touchent en certains endroits, une mise sous tension accidentelle de l'un peut être supportée par les autres, malgré la précaution du sectionnement de la gaine aux manchons. Quand une couche de protection

sépare les armures, le danger est diminué; mais, par contre, la liaison lâche de plusieurs câbles suscite d'autres inconvénients. Si, en effet, l'armure d'un tel câble est mise sous tension, il peut se produire un arc avec le câble adjacent par contact imparfait, d'où brûlures et nouveaux défauts qui se manifestent sur des câbles d'ailleurs en bon état. On signale que ces défauts sont difficiles à repérer, car l'isolement est encore assez bon pour que le câble résiste à des tensions notables et parce que l'accident originel s'est souvent produit à une grande distance du second. Il est donc nécessaire, dans le cas où la gaine est sectionnée, de poser les câbles dans leur tranchée avec un écartement approprié. La détérioration survient généralement à l'endroit où la gaine mise sous tension est près d'une masse métallique enterrée. L'attaque du câble est semblable à celle que l'on constate quand, pour protéger un câble contre les courants vagabonds aux points de croisement des lignes électrifiées, on les loge dans des tuyaux de fer. Ceux-ci doivent être remplacés par des tuyaux d'argile, vernis intérieurement, mais en établissant une connexion entre le câble et le tuyau de fer, on arrive également à conjurer tout danger.

Si, entre câbles voisins, de fortes intensités ou l'amorçage d'un arc sont à redouter, une bonne précaution consiste à les relier par des liaisons transversales qui les portent au même potentiel; mais cette protection contre l'établissement d'un arc n'est acquise qu'au détriment des avantages de la pose avec isolement des câbles. Le courant et la tension par rapport à la terre dans les enveloppes s'étendent alors très loin et les mêmes inconvénients surviennent que dans le cas de l'interconnexion, avec cette seule différence que ce ne sont pas, comme dans ce dernier cas, les gaines de plomb qui conduisent la plus grande intensité.

Lorsque les enveloppes de plomb sont reliées entre elles dans les manchons, les dangers de la mise sous tension des armures disparaissent, pourvu que la mise à la terre soit effectuée avec une faible résistance. Si l'enveloppe de plomb seule est mise à la terre, aucune tension dangereuse ne peut se produire entre le fer et le plomb, à la condition qu'aucune influence extérieure ne mette l'armure sous tension. Dans le cas où les enveloppes de plomb sont reliées ensemble, des tensions se transmettent le long du câble si la mise à la terre n'est pas parfaite. Lorsque, dans les manchons, les armures et les gaines sont reliées électriquement, la pénétration des courants vagabonds est facilitée surtout dans le cas d'une bonne mise à la terre. Lors d'un accident au câble, de fortes intensités risquent de traverser la gaine et, dans quelques cas, elles ont provoqué la fusion des fils de connexion. Afin de les réduire, on peut établir les conducteurs de liaison en matières très résistantes, mais cette réalisation n'est souvent pas applicable faute de place pour disposer convenablement les résistances et la chaleur qu'elles dégagent est nuisible aux manchons. Les contacts des câbles entre eux ou avec des masses métalliques mises à la terre ne sont pas dangereux quand les gaines sont bien mises à la terre elles aussi.

Quand la gaine du câble est reliée métalliquement avec des masses de métal enfoncées dans la terre, il faut prévoir que, suivant le volume de ces dernières, et aussi suivant la résistance du sol environnant et la connexion avec d'autres masses, le potentiel de l'enveloppe du câble ou des masses métalliques ou de tous les deux est modifié. Plus ce potentiel est instable, plus fortes seront ses variations. S'il est fixe, il s'impose à tout le milieu. Lorsque, à la suite d'un défaut, la gaine est portée à une certaine tension par rapport à la terre, le manchon lui aussi prend le même potentiel. Si la gaine était positive et émettait du courant, le manchon agit de même et se corrode,

Dans le cas où des câbles bien construits sont posés avec la distance convenable entre eux et où l'on n'a pas à craindre des courants vagabonds, il est indifférent de prévoir les manchons avec ou sans fil de connexion. Pratiquement les deux dispositions ont donné de bons résultats.

Au sujet des dommages attribués aux courants de fuite des chemins de fer électriques, rien n'a jamais été précisé. Il semble, par conséquent, que les craintes du début ne se sont pas justifiées et que les prescriptions en vigueur sont suffisantes. Les risques provenant de dommages mécaniques ou d'un isolement trop faible des branchements dans les caves humides doivent être considérés comme beaucoup plus à redouter.

Par mesure de précaution contre ces courants de traction, il faut autant que possible laisser un espace suffisant entre les câbles et le tracé de la voie. Si les câbles doivent longer la voie sur un long parcours, il convient d'utiliser des manchons isolants qui divisent l'enveloppe et gênent la circulation des courants. Si les câbles passent sous les rails, il est nécessaire de les disposer à l'intérieur d'un tuyau d'argile ou de les enduire à chaud d'une épaisse couche de matière isolante. On serait porté à croire que toutes ces mesures ne sont utiles qu'aux endroits où l'armure risque d'être portée à un potentiel positif par rapport au sol et où, par conséquent, le courant sort du câble. Mais il est avantageux d'empêcher également l'entrée du courant dans le câble, sans quoi ce dernier serait endommagé aux points de sortie du courant.

L'auteur indique un montage qui permettrait de mesurer l'intensité des courants vagabonds; il les considère comme dangereux dès qu'ils atteignent la valeur de $1 \text{ mA} : \text{dm}^2$ ou même $0,70 \text{ mA} : \text{dm}^2$, quand il s'agit de canalisations d'eau ou de gaz; puis il se livre à un essai de calcul de la résistance du sol que nous ne reproduisons pas.

Les raccordements des gaines de plomb aux manchons sont exécutés de différentes manières, soit par un autre manchon, vissé ou soudé, soit par brides, soit par un fil métallique enroulé et soudé sur le plomb. Ce fil de connexion est relié au bâti du manchon soit directement, soit par une mise à la terre. Alors, même si le plomb est connecté avec l'armure de fer, il se produit un courant de circulation dans les enveloppes, mais principalement dans l'enveloppe de plomb, car sa résistance est moindre que celle du fer; aussi faut-il prendre des fils assez gros, d'au moins 3 mm de diamètre. Il est arrivé que des fils choisis trop fins soient fondus. Le plus souvent, la gaine de plomb est seule reliée au manchon; ceci est suffisant si la gaine de plomb a une bonne terre, pour maintenir l'armure à une faible tension tant qu'il n'y a pas à craindre qu'elle soit mise sous tension par l'influence des câbles voisins. Si l'enveloppe de plomb est isolée de l'armure de fer et mise à la terre seulement aux extrémités des différents tronçons, le courant qui traverse l'enveloppe par suite d'un défaut du câble peut être accusé par un ampèremètre.

Avec une bonne mise à la terre de la gaine de plomb, surtout dans les installations à trois fils avec le fil du milieu à la terre, il se produit facilement, en cas d'accidents aux câbles, des courts-circuits qui font sauter les plombs. Ceci a été observé aussitôt que l'on eut abandonné la pose isolée pour le système avec mise à la terre; alors que, dans le premier cas, le grillage des câbles constituait un accident fréquent, il devint plus rare par l'adoption de la pose avec mise à la terre; en même temps, le défaut se décelait par l'explosion des fusibles. Dans le cas où le câble du milieu est nu, il se comporte comme un câble endommagé. Lorsqu'un contact à la terre survient sur un des câbles extérieurs,

c'est le câble moyen qui est rongé, si c'est un câble négatif qui est défectueux, ou le câble extérieur, si c'est un câble positif qui est défectueux.

Pour se garantir des corrosions produites par un défaut du câble qui dure un certain temps, il faut surveiller attentivement les câbles et les vérifier souvent. Plusieurs dispositifs sont employés pour annoncer automatiquement les accidents: on monte un ampèremètre, dans le cas d'une distribution à trois fils, au milieu du fil mis à la terre, ou sur le conducteur de mise à la terre de la gaine de plomb, ou sur un fil auxiliaire isolé du câble et servant à vérifier l'isolement.

On a aussi attribué des corrosions à la formation de couples locaux; mais on n'a pas pu établir avec précision si, cette corrosion n'était pas due à une tension entre le fer et le plomb due à l'humidité du milieu. En effet, entre fer et plomb, séparés par un milieu humide, on a mesuré, même sur des câbles intacts, une tension qui pouvait atteindre 0,5 v. Comme la force contre-électromotrice de polarisation est très petite aux faibles intensités, une attaque du métal peut encore avoir lieu, même avec une faible tension, si la résistance est faible, comme on l'a vérifié expérimentalement. Même au bout d'un temps relativement court, on a observé une corrosion de la gaine de plomb nue d'un câble de téléphone qui était posé dans une conduite en ciment, mais dans des conditions défavorables, car cette conduite était presque continuellement traversée par de l'eau de source. Les tensions entre la gaine de plomb et les manchons de fer qui lui sont métalliquement reliés ne se chiffraient que par des dixièmes de volt; mais à cause de la grande surface de contact de la gaine et du manchon avec l'eau et de la faible résistance qui en résultait, ces faibles tensions ont pu produire des courants suffisants pour corroder la gaine de plomb nue; mais dans un câble armé, la résistance entre fer et plomb est si grande, qu'aucune intensité nuisible ne peut prendre naissance sous l'effet de la tension existant entre fer et plomb.

Les corrosions sont aussi en partie imputables aux impuretés du métal, car, lorsque le câble est enfoui dans un sol humide, il se forme, entre les impuretés et le métal pur, des couples débitant des courants locaux assez intenses pour attaquer le métal. Cette explication est plausible, mais il est difficile de préciser si ce sont les impuretés du métal ou les influences étrangères qui ont entraîné la corrosion.

Les câbles peuvent être rongés par l'attaque chimique directe quand le sol la favorise et cette action s'ajoute à celle du courant électrique. La terre peut être très dangereuse pour les câbles, quand elle contient des résidus d'usines chimiques, ou du sel à la suite d'un épandage pendant l'hiver, ou de l'ammoniaque à une station de fiacres. Il se produit alors une attaque du fer de l'armure, du plomb de la gaine et du cuivre du conducteur. En général, les hydroxydes rendent le fer inattaquable, tandis que les chlorures et les sulfates agissent d'une manière contraire. Dans une certaine mesure, des solutions concentrées d'hydroxydes de sodium, de potassium ou de calcium préservent de la corrosion, tant qu'elles se trouvent sur le câble non diluées. En particulier, l'hydroxyde de calcium ou l'hydrate, qui sont les moins solubles des matières déjà indiquées, peuvent offrir une protection momentanée; mais, dans le sol, il se trouve toujours des solutions de chlorures, de sulfate et de carbonates qui atteignent l'armure et en rendent le fer attaquant.

Au sujet de la pose des câbles de fond, on ne peut pas décider à première vue quelle est la méthode la meilleure, ni formuler un programme des précautions à prendre. Ce

sont des considérations d'un tout autre genre que celles relatives aux câbles de jour qui interviennent. Quand les lignes des chemins de fer de mine étaient posées suivant les règles syndicales, aucune action électrolytique n'était observée; mais, dans les mines de fond, il est difficile de maintenir les canalisations en bon état. Généralement, on recommande une bonne liaison conductrice des gaines entre elles et avec les manchons et de fréquentes mises à la terre en des points convenables. De plus, on emploie aussi la connexion transversale des gaines. Par la mise à la terre, les gaines sont portées, dans le cas où aucun courant ne circule, au potentiel du sol. Ce potentiel peut être, en des endroits éloignés et sous certaines conditions, légèrement différent de zéro et par suite dangereux, notamment pour les câbles d'allumage. Ce sont donc les conditions locales qui imposent le système de protection adéquat. Le contact lâche de la gaine avec une masse métallique enterrée s'est aussi montré nuisible pour les installations de fond.

L'enveloppe est rongée aux endroits où le câble repose sur ses appuis de fer. Pour y remédier, il faut l'isoler par du bois, ou bien faire un bon joint métallique.

Afin de mettre à la terre ou de relier uniformément les gaines dans les manchons, les manchons et les boîtes doivent avoir un profil convenable et être munis de fortes vis de masse. Souvent même on a proposé d'unifier les manchons.

On a essayé d'augmenter la sécurité du câble par un plus fort isolement entre fer et plomb et autour de l'armure de fer, afin de diminuer le danger de courts-circuits. Cet isolement renforcé ne demande pas à être aussi imperméable que celui entre conducteur et gaine de plomb. Il offre une bonne protection s'il est suffisamment durable. Les courants circulant dans la gaine de plomb en cas d'accident du câble peuvent servir alors dans un système de protection pour actionner un indicateur de faute.

Les explications données par le referendum peuvent être résumées ainsi :

Quand il faut prendre des précautions contre les courants vagabonds de la traction électrique et quand on désire une localisation des conséquences de l'accident d'un câble, l'isolement du câble et le sectionnement aux manchons sont avantageux.

Quand on ne cherche pas à limiter le courant de fuite, ou quand des câbles différents sont en contact imparfait ou sont posés dans le sol au voisinage de grosses masses métalliques, ou, encore, quand on n'a pas besoin de se prémunir contre les courants vagabonds, il est recommandé de mettre les gaines à la masse et de relier les enveloppes de plomb entre elles dans les manchons de raccordement et les boîtes de jonction.

Lorsqu'on isole la gaine et qu'on la sectionne aux manchons, elle peut être mise sous tension par rapport à la terre dans un tronçon défectueux; pour éviter dans ce cas un amorçage d'arc entre câbles, tout contact imparfait des câbles entre eux ou tout contact ou tout voisinage d'un câble avec une masse métallique mise à la terre est d'autant plus dangereux que cette masse est plus parfaitement en contact avec la terre. Dans les manchons, les gaines sectionnées doivent être assez bien isolées pour éviter les courts-circuits entre les tronçons ou entre tronçon et terre.

Si l'on ne peut pas éviter ce contact des câbles isolés ou si les gaines sont tellement proches de masses métalliques qu'un arc puisse s'amorcer entre gaine et masse, il faut relier électriquement la gaine du câble avec la masse. Cette même précaution est applicable à un câble tiré dans un tuyau de fer qui le protège.

Lorsque, pour un câble isolé, tout contact du câble avec une masse métallique, une conduite d'eau ou de gaz doit être évité, il faut poser le câble le plus loin possible de la masse, ou l'en séparer par une couche isolante.

Pour empêcher l'infiltration de courants vagabonds de traction, il faut, aux points d'intersection des rails et du câble, protéger ce dernier par un tuyau d'argile, par du papier bitumé ou par une couche d'asphalte que la gaine soit, par rapport à la voie, positive ou négative.

Quand on effectue la pose avec mise à la terre, il suffit de bien relier électriquement les gaines de plomb et de les mettre à la terre. L'isolement de l'armure de fer peut rendre plus difficile la pénétration des courants vagabonds.

Dans le cas de câbles destinés au courant alternatif, les mesures de précautions envisagées ci-dessus sont inutiles quand elles sont prises contre les effets du courant alternatif, car, aux fréquences usuelles, aucune électrolyse n'est à craindre.

Une attaque chimique est moins à redouter de la part de solutions diluées d'hydroxydes de sodium, de potassium et de calcium que de chlorures, carbonates et sulfates. Un revêtement protecteur n'offre qu'une protection momentanée.

B. H

Propriétés et caractéristiques des matériaux isolants ⁽¹⁾.

L'auteur a partagé son étude en trois parties; la première traite de la fabrication et des propriétés de la porcelaine, la deuxième, des isolants au mica, et la troisième des isolants fibreux. La fabrication de la porcelaine est connue et nous laisserons cette partie de côté pour examiner les essais auxquels la porcelaine est soumise; en général on se borne à rechercher la tension qui amène une rupture du diélectrique à moins que l'arc n'éclate à l'extérieur avant la rupture de l'isolant; les qualités des isolateurs faisant partie d'une même fourniture sont parfois très différentes. On appelle mica un certain nombre de minéraux qui peuvent être facilement clivés en feuilles minces; ils sont en général de nature réfractaire et leur composition est très variable; on les tire en général du Canada, des Etats-Unis et de l'Inde. Le mica possède une rigidité diélectrique considérable; il résiste parfaitement à la chaleur et il absorbe peu l'humidité et l'huile; il résiste normalement à deux, trois ou même quatre kilovolts par mil (0,025 mm).

La chaleur a pour résultat de déshydrater le mica qui après avoir été soumis à très haute température se présente sous forme d'une poudre ayant perdu toutes les qualités mécaniques et électriques du corps original. En général, le mica est employé conjointement au papier ou à la toile; lorsque les machines étaient de petites dimensions, le mica était employé pur; mais pour les grandes machines, il devient nécessaire de procéder autrement et d'utiliser la « mica-nite » constituée par des feuilles de mica agglomérées par un vernis convenable. Dans ces dernières années on a associé le mica au papier, à la toile et à la soie. L'un des produits les plus importants ainsi réalisé est le « micafolium »; la figure 1 représente une machine simple pour la fabrication de cette matière isolante; on en voit facilement le fonctionnement sans qu'il soit nécessaire de l'expliquer plus complètement. Le vernis employé est en général une solution de copal ou de gomme laque dans l'alcool; il est essentiel qu'il

⁽¹⁾ R.-C. FLEMING. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, décembre 1921, t. LX, p. 58-64, 6 000 mots, 4 fig., 3 tab.

puisse sécher rapidement à l'air. La feuille de papier passe à la vitesse de 12 à 18 cm : mn; le procédé de séchage indiqué sur la figure n'est pas très satisfaisant, la partie chauffée étant celle qui n'est pas vernie. Il paraît plus rationnel de sécher la surface supérieure à l'aide d'un courant d'air chaud, à une température de 85 à 105°C; des pré-

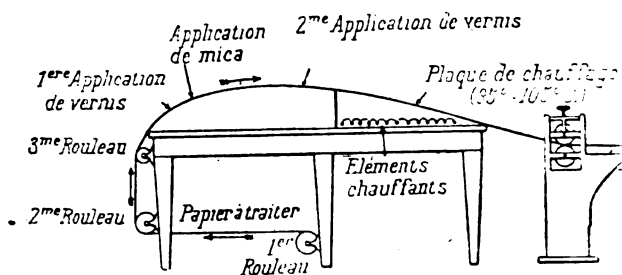


Fig. 1.

cautions doivent être prises pour évacuer à l'air libre les vapeurs résultant du séchage. Le même procédé est employé pour la fabrication de la toile micanite ou du mica flexible pour la micanite rigide. Le vernis employé doit contenir des corps qui lui donnent une certaine plasticité. Les isolants fibreux sont le papier, les toiles et les cartons, tous ces corps ont des qualités isolantes médiocres, mais ils peuvent être imprégnés facilement de composés possédant les qualités qui leur manquent. Les isolants dont il vient d'être fait mention sont souvent utilisés sous forme de tubes; ces derniers sont fabriqués à l'aide de machines dont la figure 2 montre un type simple dont le fonctionnement est facile à com-

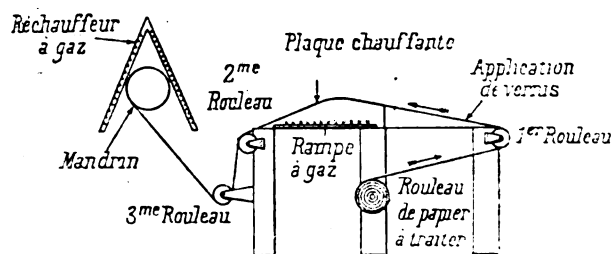


Fig. 2.

prendre. Il est essentiel que le papier ne soit jamais soumis à une température supérieure à 100°, car autrement il perd ses qualités mécaniques : la machine est arrêtée lorsque l'épaisseur du tube est suffisante, le mandrin est enlevé et le tube est séché; les qualités du tube dépendent grandement du vernis employé, de la quantité de ce vernis et de la température du mandrin qui doit être maintenue aussi voisine que possible de 100°. En outre il est indispensable d'obtenir une pression constante et suffisante sur le papier pendant tout l'enroulement. Après ce traitement, le tube est souvent recuit; cependant le résultat, satisfaisant ou non, dépend en grande partie du vernis.

Il résulte d'essais faits sur ces tubes de papier que la tension de rupture par mil (0,025 mm) est d'environ 500 à 600 v; elle croît en général avec la durée du recuit. Les essais des matières fibreuses doivent porter sur leur rigidité diélectrique et résistance d'isolement, leurs qualités mécaniques et physiques, en particulier leur porosité et, au point de vue chimique, l'acidité doit être nulle. L'auteur examine ensuite les isolants liquides tels que l'huile ou les isolants employés à l'état liquide, mais devant encore posséder leurs qualités isolantes après séchage, comme les vernis. Ces derniers doivent posséder un certain nombre de qualités : ils doivent sécher en peu de temps, soit à l'air libre, soit au four; ils ne doivent pas perdre ces qualités en vieillissant; ils doivent posséder une rigidité diélectrique élevée et doivent avoir une faible acidité. La durée du séchage à l'air ou au four dépend de l'emploi du vernis. En général la durée admise est de huit à dix heures, sauf cependant pour les vernis à finir qui doivent sécher en moins d'une heure. Les méthodes d'emploi du vernis dépendent du résultat à obtenir, cependant on tend de plus en plus à procéder par trempage; les fours de séchage doivent être maintenus à une température constante de 80°C environ; en outre ils doivent être parcourus par un courant d'air chaud pour activer l'oxydation du vernis et, par suite, son séchage. On utilise actuellement un vernis synthétique, la Bakelite, à l'aide d'un appareil représenté par la figure 3, le réservoir à vernis A

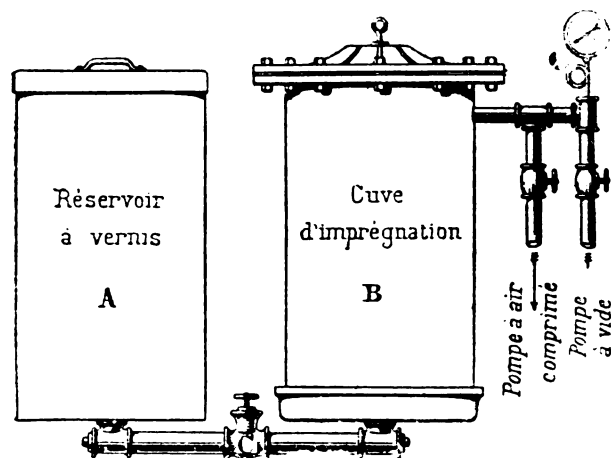


Fig. 3.

est en communication avec le réservoir B, dans lequel on place les bobines à imprégner, par l'intermédiaire d'une canalisation et d'une vanne C. Le réservoir B peut supporter une pression de deux ou trois atmosphères; le vernis de A pénètre en B et submerge les bobines à traiter; le robinet C est fermé et le réservoir B est mis en communication avec une canalisation à air comprimé pendant un certain temps dépendant des dimensions des bobines à traiter. Ces dernières ont été, au préalable, traitées par le vide dans le même appareil B; on peut procéder à un simple ou à un double trempage, ou à une simple ou double imprégnation. — E. B.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société des Forces motrices de la Vienne.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU 4 NOVEMBRE 1921.

Depuis la dernière assemblée ordinaire ont été terminés les travaux du premier programme comportant, avec l'établissement de l'usine hydroélectrique de l'Isle-Jourdain, celui de la ligne de transport à 60 000 v destinée à relier à les réseaux de la Charente-Inférieure aux usines hydrauliques de la Vienne.

Leur inauguration a eu lieu le 22 octobre dernier.

La société a maintenant à prendre les dispositions financières nécessaires à l'exécution du second programme de travaux.

Ce programme comporte essentiellement :

1° L'aménagement de la deuxième chute principale, c'est-à-dire de l'usine hydraulique de Chardes, et l'exécution de divers compléments à apporter aux réseaux à haute tension pour les mettre en relation, d'une part, avec la station à vapeur de Faymoreau, afin de réaliser les échanges d'énergie ayant fait l'objet d'accords avec la Société Energie électrique de l'Ouest de la France » et, d'autre part, avec d'autres centres de distribution présentant un grand intérêt pour le développement futur de la société;

2° L'aménagement de la troisième chute principale, l'usine hydraulique de Jousseau et le doublement de l'artère à 60 000 v actuelle, doublement déjà prévu par la concession d'Etat et qui devra être exécuté aussitôt que le nécessiteront les besoins de la clientèle.

Ce programme de travaux doit s'échelonner sur une période d'environ quatre années et entraîner, d'après les prévisions qui peuvent être faites actuellement, une dépense approximative totale de vingt millions.

La première partie a déjà reçu un commencement d'exécution et, en particulier, tout le gros matériel mécanique et électrique de l'usine de Chardes a été commandé aux constructeurs et se trouve en cours de fabrication.

En outre, il a déjà été procédé à l'acquisition et au paiement partiel de tous les terrains nécessaires à la seconde chute, et la société s'est également assuré l'ensemble des terrains et droits privés nécessaires pour la troisième chute.

Il est d'un très grand intérêt que, dès le début du printemps prochain, les travaux de génie civil de l'usine de Chardes puissent être poussés avec vigueur. Cette condition est nécessaire pour que la mise en service de cette usine puisse avoir lieu à l'entrée de l'hiver 1923-1924, c'est-à-dire à une époque où il faut prévoir que le développement des ventes rendra indispensable la mise en action de moyens de production nouveaux.

Pour faire face aux besoins de ce programme, le Conseil propose :

1° De porter le capital-actions à 15 000 000 fr. en une ou plusieurs fois, par l'émission des 20 000 actions privilégiées

nouvelles, du même type que les actions privilégiées actuelles et appelées, après libération complète, à être assimilées à ces dernières;

2° De porter le montant nominal de l'ensemble des obligations que le Conseil est autorisé à émettre à deux fois et demie le montant du capital-actions, tel que ce capital existera lors de ces émissions d'obligations.

A la suite des explications du Conseil, les résolutions suivantes ont été votées :

Première résolution. — L'assemblée générale extraordinaire, approuvant dans toutes ses parties le rapport du Conseil d'administration, décide que le capital de la société, actuellement de 10 000 000 fr, pourra être augmenté, en une ou plusieurs fois, jusqu'à concurrence de 5 000 000 fr, par l'émission, au pair ou avec prime, de 20 000 actions privilégiées nouvelles de 250 fr chacune, effectuée en totalité ou en partie, sur simples décisions du Conseil d'administration, comme il sera dit ci-après, et que, par suite, le capital pourra être porté à 15 000 000 fr, divisé en 60 000 actions de 250 fr chacune, dont 53 600 privilégiées et 6 400 ordinaires.

Les actions privilégiées nouvelles seront d'un rang égal à celui des actions privilégiées déjà existantes; elles seront émises contre espèces; le montant en sera payable, savoir : un quart au moins au moment de la souscription et les trois autres quarts aux époques et dans les proportions qui seront déterminées par le Conseil d'administration.

Les nouvelles actions privilégiées ainsi émises porteront les numéros de 40 001 à 60 000.

Elles seront soumises à toutes les dispositions statutaires et notamment, en ce qui concerne leur libération, aux articles 9 et 10 des statuts. Elles seront assimilées aux actions anciennes privilégiées et pourvues des mêmes droits, sauf toutefois comme il va être dit, pour la période pendant laquelle lesdites actions nouvelles ne seront pas entièrement libérées.

Jusqu'à cette entière libération, les actions nouvelles jouiront, dans les conditions prévues à l'article 45 des statuts :

— D'un premier dividende de 6 pour 100 dans la proportion des sommes dont elles seront libérées, à compter, pour le premier versement, du 1^{er} janvier de l'année au cours de laquelle sera tenue l'assemblée générale appelée à reconnaître la sincérité de la souscription, et pour les trois quarts restant à verser, à compter du jour respectivement fixé pour les versements ultérieurs.

— De la totalité du dividende complémentaire pouvant résulter à leur profit des dispositions dudit article 45, et cela à compter de l'exercice en cours au moment de l'émission.

Les porteurs d'actions ordinaires et privilégiées et les propriétaires de parts de fondateurs auront, conformément

à l'article 8 des statuts, un droit de préférence à la souscription de la totalité des actions privilégiées nouvelles et ce, au moment de chaque augmentation, dans la proportion respective de 75 pour 100 en faveur des propriétaires d'actions et de 25 pour 100 en faveur des propriétaires de parts de fondateur.

L'assemblée générale donne tous pouvoirs et autorisations nécessaires au Conseil d'administration pour réaliser l'augmentation de capital ainsi autorisée, en une ou plusieurs fois, en totalité ou en partie, selon les besoins de la société, fixer l'époque ou les époques, le montant et les conditions de l'émission ou des émissions successives, le montant de toute prime, s'il y a lieu, arrêter toutes les mesures concernant les conditions, délais et formes dans lesquels pourra s'exercer le droit de préférence stipulé par l'article 8 des statuts au profit des anciens actionnaires et des propriétaires de parts de fondateur, prendre également toutes dispositions et mesures nécessaires pour assurer la souscription des actions qui ne seraient pas absorbées par ce droit de préférence; passer tous traités et conventions à cet effet avec tous syndicats de garantie, maisons de banque ou tiers qu'il jugera convenables; stipuler et payer toutes commissions, recueillir les souscriptions et recevoir les versements et, d'une manière générale, faire tout ce qui sera utile et nécessaire pour la réalisation en une ou plusieurs fois, en totalité ou en partie, de l'augmentation de capital ainsi autorisée.

Le Conseil d'administration fera, soit par lui-même, soit par celui de ses membres qu'il délèguera spécialement à cet effet, toutes déclarations notariées de souscriptions et de versements et remplira toutes les formalités nécessaires pour la régularisation de cette augmentation de capital.

L'assemblée générale de tous les actionnaires anciens et nouveaux sera convoquée ensuite à l'effet de vérifier la sincérité de toutes déclarations notariées de souscriptions et de versements et de constater les modifications statutaires qui seront la conséquence de cette augmentation de capital.

Deuxième résolution. — L'assemblée générale décide qu'au cas où l'augmentation de capital autorisée par la première résolution qui précède serait réalisée, en totalité ou en partie, et sous la condition suspensive de cette réalisation, l'article 7 des statuts serait modifié de plein droit par la substitution au chiffre actuel de 10 millions de francs du nouveau chiffre représentant le capital social tel qu'il résultera de l'augmentation de capital réalisée à ce moment et par l'indication du nombre d'actions de chaque catégorie qui existeront à partir de ladite augmentation de capital.

Troisième résolution. — L'assemblée générale, toujours pour le cas où l'augmentation de capital, faisant l'objet de la première résolution qui précède, serait réalisée en totalité ou en partie, autorise le Conseil d'administration à procéder, par ses seules délibérations, à la création et à l'émission de toutes obligations ou bons, jusqu'à concurrence d'une somme telle que le montant nominal des titres émis soit au total égal à deux fois et demie le capital social, tel que ce capital existera au moment où seront faits les emprunts.

En conséquence, elle décide, sous la condition suspensive de la réalisation, totale ou partielle, de l'augmentation de capital autorisée par la première résolution qui précède, que l'article 18 des statuts sera modifié de plein droit par la substitution des mots « ... jusqu'à concurrence d'une

somme nominale égale à deux fois et demie le montant du capital social... » aux mots « ... jusqu'à concurrence d'une somme nominale égale au double du montant du capital social.

Quatrième résolution. — L'assemblée générale décide, en outre, sous la condition suspensive de la réalisation totale ou partielle de l'augmentation de capital autorisée par la première résolution qui précède, d'apporter diverses modifications aux articles 9, 10, 31, 32, 57 et 59 des statuts (lecture en est donnée).

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU 12 DÉCEMBRE 1921.

Aux termes d'une résolution adoptée en assemblée générale extraordinaire, le 4 novembre 1921, ratifiée par les assemblées spéciales des actionnaires de chaque catégorie, tenues le même jour, il a été décidé que le capital de la société, actuellement de 10 millions de francs, pourrait être augmenté, en une ou plusieurs fois, jusqu'à concurrence de 5 millions de francs, par l'émission, au pair ou avec prime, de 20 000 actions privilégiées nouvelles de 250 fr chacune, émission à effectuer, en totalité ou en partie, sur simples décisions du Conseil d'administration.

Le Conseil a décidé, dans sa séance du 4 novembre dernier, de procéder à une augmentation de capital partielle de 2 500 000 fr, par l'émission de 10 000 actions privilégiées nouvelles, à souscrire en numéraire au taux de 260 fr payables : le premier quart, augmenté de la prime, soit 72,50 fr par titre à la souscription, les trois quarts restant à verser, soit 187,50 fr suivant les appels du Conseil.

Les actions nouvelles — qui seront d'un rang égal à celui des actions privilégiées déjà existantes et soumises à toutes les dispositions statutaires, notamment en ce qui concerne leur libération, aux articles 9 et 10 des statuts, — porteront les numéros 40 001 à 50 000; elles seront assimilables aux actions anciennes privilégiées et pourvues des mêmes droits, sauf toutefois les dispositions ci-après applicables à la période pendant laquelle lesdites actions nouvelles ne seront pas entièrement libérées :

Jusqu'à cette entière libération, les actions nouvelles jouiront, dans les conditions prévues à l'article 45 des statuts : — d'un premier dividende de 6 pour 100 dans la proportion des sommes dont elles seront libérées à compter, pour le premier quart, du 1^{er} janvier de l'année au cours de laquelle sera tenue l'assemblée générale appelée à reconnaître la sincérité de la souscription et, pour les trois quarts restant à verser, à compter du jour respectivement fixé pour les versements ultérieurs; — de la totalité du dividende complémentaire pouvant résulter à leur profit des dispositions dudit article 45 et cela à compter de l'exercice en cours au moment de l'émission.

En ce qui concerne le droit de préférence à la souscription, stipulé par l'article 8 des statuts, au profit des anciens actionnaires et des propriétaires de parts, il a été expliqué que ce droit serait exercé à raison de 3 actions nouvelles pour 16 actions anciennes (ordinaires et privilégiées) et de 25 actions nouvelles pour 24 parts de fondateur.

Le droit de souscription irréductible dont il s'agit devait être constaté par la remise, au moment de la souscription, du coupon 7 pour les actions privilégiées anciennes et du coupon 1 pour les actions ordinaires et les parts de fondateur. Corrélativement, les actions nouvelles à souscrire devaient être émises coupon 8 attaché.

A la suite de la lecture du rapport du Conseil et après délibération, l'assemblée générale des actionnaires adopte à l'unanimité les résolutions suivantes.

Première résolution. — L'assemblée générale donne acte au Conseil d'administration du rapport qui vient de lui être présenté et qu'elle approuve dans toutes ses parties. Elle reconnaît sincère et véritable, après vérification, la déclaration faite par le Conseil d'administration suivant acte reçu par M^e Desplanques, notaire à Paris, le 6 décembre 1921, de la souscription des 10 000 actions privilégiées nouvelles de 250 fr chacune, émises au taux de 250 fr, représentant l'augmentation de capital décidée par le Conseil d'administration, en vertu de l'autorisation donnée par l'assemblée générale extraordinaire du 4 novembre 1921, et du versement de la somme de 72,50 fr sur chacune de ces actions, cette somme représentant le premier quart du capital nominal de l'action, augmenté de la prime d'émission.

En conséquence, cette augmentation de capital est définitivement réalisée et le capital social qui était de 10 millions de francs se trouve porté à 12 500 000 fr.

Deuxième résolution. — L'assemblée générale reconnaît que sont devenues définitives, par suite de la réalisation de l'augmentation de capital ci-dessus constatée, les modifications apportées sous condition suspensive aux articles 7, 9, 10, 18, 31, 32, 57 et 59 des statuts, par les 2^e, 3^e et 4^e résolutions adoptées par l'assemblée générale extraordinaire du 4 novembre 1921.

En particulier, l'article 7 des statuts sera désormais rédigé comme suit :

Les deux premiers alinéas de cet article sont modifiés et remplacés par les dispositions suivantes :

Le capital social est fixé à la somme de 12 500 000 fr.

1^o Il est divisé en 50 000 actions, dont 6 400 actions ordinaires (ou de deuxième rang) de 250 fr chacune et 43 600 actions privilégiées de 250 fr chacune, savoir :

Les 6^e alinéa et suivants, jusqu'au sous-titre « Parts de fondateur », sont modifiés et remplacés par les dispositions suivantes :

2^o — 43 600 actions privilégiées de 250 fr chacune, dont :

8 000, portant les n^{os} 2 401 à 10 400, créées à la constitution de la société, ont été émises contre espèces ;

(Pendant un délai de deux ans après leur création, les actions privilégiées ci-dessus ont eu droit à un intérêt intercalaire de 5 pour 100 du montant des sommes dont elles se trouvaient libérées.)

5 600, portant les n^{os} 10 401 à 16 000, émises contre espèces et formant la première augmentation de capital, en exécution des décisions des assemblées générales extraordinaires des 28 avril et 24 juillet 1917 ;

8 000, portant les n^{os} 16 001 à 24 000, émises contre espèces et formant la deuxième augmentation de capital, en exécution des décisions des assemblées générales extraordinaires des 21 octobre 1918 et 28 février 1919 ;

12 000, portant les n^{os} 24 001 à 36 000, émises contre espèces et formant, avec les 4 000 actions ordinaires ci-dessus mentionnées, la troisième augmentation de capital, en exécution des décisions des assemblées générales des 23 octobre 1919 et 28 février 1920 ;

10 000, portant les n^{os} 40 001 à 50 000, émises contre espèces et formant la quatrième augmentation de capital, en exécution des décisions des assemblées générales extraordinaires des 4 novembre et 12 décembre 1921.

Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 16 FÉVRIER 1922.

Un décret du 29 décembre 1921, publié au « Journal officiel » du 31 décembre, a approuvé la convention passée, le 26 mars 1921, par la compagnie avec la Ville de Paris et ratifiée par l'assemblée générale du 10 juin dernier. (Voir *R. G. E.* du 5 novembre 1921, t. X, p. 652.)

La compagnie, à la charge de laquelle la convention de 1898 met les dépenses de superstructure, de matériel roulant, d'accès, etc., n'est désormais tenue d'engager ni de payer à l'avenir aucune dépense de premier établissement qu'avec les ressources provenant d'obligations ou de bons à court terme. Elle s'est obligée, dès la mise en vigueur de la nouvelle convention, à introduire une demande d'autorisation d'un premier emprunt et, ultérieurement, d'autres demandes d'autorisation d'émission six mois au moins avant la date présumée d'épuisement des ressources provenant de l'emprunt précédent. La Ville de Paris s'est toutefois réservée de procéder elle-même à ces emprunts au lieu et place de la compagnie.

C'est en application de ces dispositions que les actionnaires ont été convoqués en assemblée générale à l'effet de leur demander, conformément aux statuts, l'autorisation d'émettre des obligations nouvelles.

La compagnie devra, conformément aux conventions et lois qui régissent l'exploitation du Chemin de fer métropolitain, demander, préalablement à la réalisation de l'emprunt, d'abord l'autorisation de la Ville de Paris et, ensuite, l'autorisation gouvernementale. Ces deux procédures ne pouvant être que successives, les délais qu'exigent ces formalités sont longs et la réalisation de chacun des emprunts se trouve subordonnée à cette circonstance.

Il est donc indispensable que le Conseil d'administration soit dès maintenant pourvu d'une autorisation d'émission d'obligations suffisamment large pour tenir compte, d'une part, des engagements des nouveaux contrats, d'autre part, du coût des dépenses de premier établissement tel qu'il résulte de la situation économique créée par la guerre et enfin de la reprise d'activité de la construction, par la Ville de Paris, des lignes nouvelles restant à établir.

Il faut, en outre, considérer que, par suite de la guerre, la compagnie, réduite à la situation difficile que lui créaient les accords provisoires, s'est vue dans la nécessité de suspendre, pour les lignes en exploitation, les travaux en cours, ceux devenus urgents et, d'une manière générale, toute amélioration que justifiait cependant l'intensité croissante du trafic. Pour les lignes en construction, elle n'a pu entreprendre les travaux dont l'exécution lui incombe que dans la limite, insuffisante d'ailleurs pour la terminaison complète desdits travaux, des avances que lui a consenties la Ville.

Sur le produit du premier emprunt, elle doit, avant toute imputation de dépenses nouvelles de premier établissement, prélever les sommes nécessaires pour rembourser à la Ville ses avances qui doivent atteindre 55 millions de francs et à la compagnie l'excédent des dépenses de premier établissement sur le chiffre de son capital-actions et obligations, soit environ 10 960 000 fr reconstituant pour autant la partie engagée des réserves qui demeurent sa propriété.

C'est pour tous ces motifs que le Conseil demande l'autorisation d'émettre des obligations nouvelles en une ou plusieurs fois et au fur et à mesure des besoins, jusqu'à con-

currence d'une somme totale effectivement réalisée de 250 millions de francs.

La charge des obligations sera, conformément aux dispositions de l'article 3 de la convention nouvelle, portée en dépense au compte général des recettes et des dépenses. Il en serait de même si la Ville usait de son droit d'émettre elle-même des obligations au lieu et place de la compagnie. Aux termes de l'article 5 de la même convention, si ce compte, dans lequel les dépenses comprennent également l'ensemble des primes constituant la rémunération de la compagnie, présente un bénéfice, ce bénéfice appartient à la Ville de Paris à laquelle elle doit le verser; si, au contraire, il présente un déficit, ce déficit lui est versé par la Ville. En outre, l'article 12 stipule que, si la Ville de Paris use de la faculté de rachat, elle se substituera à la compagnie pour le paiement, en dehors de l'annuité de rachat, des charges obligatoires réelles telles qu'elles résulteront des tableaux d'amortissement. Cette même substitution est prévue par l'article 13 pour les obligations dont la période d'amortissement se prolongerait au delà de l'expiration de la concession du Chemin de fer métropolitain.

Ces dispositions donnent une garantie de fait au service de l'emprunt.

D'autre part, la rémunération consiste en une prime au trafic, c'est-à-dire au nombre de billets délivrés, une prime au produit du trafic, proportionnelle à la différence entre les recettes et 65 pour 100 des dépenses et enfin une prime aux recettes hors trafic. Or, les sommes réalisées par les emprunts doivent servir à équiper les lignes nouvelles et à améliorer le rendement des lignes anciennes. Le supplément de recettes qui en résultera paraît devoir compenser la charge financière du service des obligations nouvelles.

A la suite de la lecture du rapport du Conseil d'administration, les actionnaires ont voté la résolution suivante :

L'assemblée générale, sur la proposition du Conseil d'administration, autorise l'émission d'obligations jusqu'à concurrence d'une somme nette encaissée de 250 millions de francs: elle donne au Conseil d'administration tous pouvoirs, dans la limite ci-dessus déterminée, pour fixer, au fur et à mesure des besoins de la compagnie, les époques d'émission des obligations et pour en déterminer le taux, la durée d'amortissement, le prix et toutes autres conditions, et éventuellement, pour conclure tous arrangements avec la Ville de Paris si celle-ci, usant du droit qui lui est dévolu par l'article 10 de la convention du 26 mars 1921, procédait elle-même en tout ou en partie auxdites émissions, au lieu et place de la compagnie.

Électricité et Gaz du Nord.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 19 JANVIER 1922.

La situation de la société est satisfaisante: durant l'exercice, la clientèle s'est accrue dans une forte proportion à tel point qu'il a fallu, dans toutes les centrales, non seulement reconstituer les installations d'avant-guerre qui devaient déjà donner un supplément de puissance disponible du fait de leur rajeunissement, mais encore augmenter la puissance installée dans des proportions importantes.

La production annuelle d'avant-guerre est de loin dépassée.

La vente de l'énergie est constamment en progression, et ce, malgré la crise industrielle qui sévit actuellement.

Toutes les difficultés nées de la guerre et, notamment, la question du charbon s'aplanissent, d'ailleurs, de jour en jour, et l'exploitation se fait actuellement dans de bonnes conditions.

La question des dommages de guerre n'est toujours pas réglée; la société a dû procéder comme l'année précédente pour l'établissement du bilan et du compte de profits et pertes, c'est-à-dire se borner à inscrire à l'actif les sommes dépensées pour réfection de dommages et au passif, les avances reçues de l'Etat sur reconstitution.

Les recettes ont atteint 7 276 172,72 fr et les dépenses 493 391,08 fr. Après versement de 1 700 000 fr au fonds d'amortissement, le solde s'élève à 5 128 701,53 fr, y compris le report précédent de 45 919,89 fr.

Ce solde se répartit : 5 pour 100 à la réserve légale; un premier dividende de 4 pour 100; 60 859,27 fr au Conseil d'administration; un deuxième dividende de 5 fr aux actions; un dividende de 60 fr aux parts.

Le report à nouveau est de 13 703,18 fr.

Le dividende est mis en paiement à partir du 1^{er} février 1922, à raison de 13,50 fr par action nominative et 11,85 fr par action au porteur, contre remise du coupon n° 5. pour les parts 47,20 fr contre coupon n° 4.

BILAN AU 30 SEPTEMBRE 1921.

Actif.

| | fr |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Frais de constitution et d'augmentations de capital de la société..... | 943 895,97 |
| Portefeuille..... | 18 164 383,10 |
| Mobilier du siège social..... | 1 » |
| Usines, réseaux et concessions..... | 30 541 616,68 |
| Disponibilités : | |
| Caisses, banques et débiteurs divers..... | 20 400 884,55 |
| Reconstitution industrielle..... | 28 612 385,90 |
| Terrains à Paris..... | 1 064 806,38 |
| Magasins (approvisionnements et sous-produits)..... | 3 510 703,70 |
| Comptes d'ordre (titres à libérer)..... | 205 250 » |
| | <u>110 043 927,37</u> |

Passif.

| | fr |
|------------------------------------------|-----------------------|
| Capital..... | 70 000 000 » |
| Réserve légale..... | 314 410,12 |
| Fonds de renouvellement du matériel..... | 4 200 000 » |
| Fonds d'amortissement..... | 4 350 000 » |
| Créditeurs divers..... | 9 323 980,18 |
| Avances de l'Etat..... | 16 367 735,49 |
| Coupons restant à payer..... | 153 850,05 |
| Compte d'ordre..... | 205 250 » |
| Profits et pertes, solde..... | 5 128 701,53 |
| | <u>110 043 927,37</u> |

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Au sujet de la proposition de loi Néron concernant les distributions d'énergie électrique.

Ainsi que nous l'annoncions dans un précédent numéro (1), une délégation du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Énergie Électrique s'est rendue, le 2 mars dernier, devant la Commission des Mines et de la Force motrice de la Chambre des Députés, pour présenter les objections que soulève la proposition de loi déposée par M. Néron et plusieurs de ses collègues. Nous donnons ci-dessous le résumé de la déposition faite par la délégation :

Depuis quelque temps, les distributeurs d'énergie électrique ont été fréquemment attaqués dans la presse. Ces attaques se sont produites même au Parlement, soit dans la discussion du budget, soit lors de l'interpellation de M. Néron. Elles ont abouti à une proposition de loi déposée par M. Néron et plusieurs de ses collègues.

Cette proposition de loi soulève les plus graves objections, et il a semblé à notre Syndicat qu'il était opportun, à cette occasion, d'exposer très brièvement à la Commission des Mines et de la Force motrice l'importance de notre industrie, les difficultés qu'elle a eues à surmonter, sa situation actuelle et les raisons qui l'obligent à s'élever contre cette proposition de loi.

IMPORTANCE DE NOTRE INDUSTRIE. — Quelques chiffres donneront une idée de l'importance de notre industrie.

Le nombre des kilowatts installés actuellement dans les usines des sociétés adhérentes à notre Syndicat s'élève à environ 2 000 000, soit 3 000 000 ch.

La longueur de leurs lignes de distribution atteint 23 000 km.

Les capitaux investis se montent à 2 700 000 000 fr, dont environ 1 600 000 000 fr en actions et 1 100 000 000 fr en obligations.

Ces chiffres représentent donc un effort considérable, effort qui est loin de correspondre aux nécessités de la situation actuelle.

Ce qui caractérise, en effet, notre industrie, contrairement à beaucoup d'autres, c'est que les besoins en énergie électrique vont toujours croissant (électrification des chemins de fer, agriculture, etc...) et que, par moment, la production est en retard sur la consommation.

ÉTAT DES CENTRALES ÉLECTRIQUES À LA FIN DE LA GUERRE. — Il est essentiel, d'autre part, d'appeler l'attention de la Commission sur la situation dans laquelle se trouvaient la plupart de nos usines à la cessation des hostilités.

L'énergie électrique a été, pendant toute la guerre, une des matières premières les plus indispensables à toutes les fabrications nationales.

Pour satisfaire à ces besoins, on a, pendant la guerre, fait des installations provisoires, augmenté le matériel comme on l'a pu, mais surtout toutes les usines ont été forcées de marcher avec du personnel souvent improvisé, dans les conditions les plus défavorables, d'une manière intensive, sans réserves, presque sans arrêt et sans pouvoir faire à leur matériel les réparations et l'entretien nécessaires.

Il en est résulté qu'à la démobilisation, le matériel de toutes les usines s'est trouvé surmené et insuffisant et que les distributeurs n'ont pu, pendant un certain temps, assu-

rer un service irréprochable comme ils l'auraient désiré. Ils ont donc trouvé là une première et très grave difficulté, dont il est d'autant plus injuste de ne pas leur tenir compte qu'elle provient de services rendus par eux, sans compter, à la Défense nationale.

AUGMENTATION DES FRAIS DE PREMIER ÉTABLISSEMENT. — Cette difficulté technique en a entraîné pour eux une autre encore plus grave, d'ordre financier : ils ont dû faire la remise en état de leurs usines et augmenter leurs moyens de production au moment où toutes les matières premières et fabriquées étaient le plus cher. Ils ne se sont pas soustraits néanmoins à cette obligation, et tous ont fait courageusement cet effort.

Aucun amortissement n'avait pu être prévu pour compenser la dépense supplémentaire due à l'achat du matériel pendant une période de prix excessivement élevés.

Il est donc souverainement injuste, comme on l'a fait souvent en ces derniers temps, de faire une distinction entre les distributeurs d'énergie qui avaient leurs installations d'avant-guerre et ceux qui en ont fait de nouvelles. Tous ont été obligés de rénover leur matériel, et tous sont obligés de faire des amortissements considérables, quels que soient ceux déjà faits avant la guerre.

DIFFICULTÉS DE L'EXPLOITATION. — Ces difficultés financières nécessitées par la reconstitution de leurs moyens de production ont été encore considérablement aggravées par les frais de tous ordres que leur a coûtés l'exploitation proprement dite.

La Commission connaît, en effet, tout comme nous-mêmes, les prix fantastiques auxquels se sont élevés les charbons et l'augmentation croissante des salaires.

En ce qui concerne les charbons, il y a lieu également de signaler l'impossibilité pour les producteurs de choisir eux-mêmes les qualités de charbon qui convenaient à leurs chaudières, l'obligation où ils étaient de brûler n'importe quelle qualité de charbon fournie, ce qui a été un des facteurs principaux de l'augmentation presque constante du prix de revient du kilowatt-heure.

NECESSITÉ D'AUGMENTER LES TARIFS. — Devant des difficultés aussi imprévisibles et devant de telles nécessités financières, comment les distributeurs d'énergie s'en seraient-ils tirés avec les tarifs d'avant-guerre ? Quand les prix de toutes choses ont augmenté au moins de trois à cinq fois, comment auraient-ils pu ne pas changer leurs tarifs ? Comment surtout les concessionnaires pourraient-ils parvenir à trouver des capitaux importants, s'ils n'étaient garantis pour l'avenir, dans une mesure raisonnable, contre les variations énormes et imprévisibles que subissent les prix de revient dans la période économique si troublée que nous traversons ? L'industrie privée a la liberté de ses tarifs de vente ; les concessionnaires de services publics ne l'ont pas.

L'idée de l'index économique s'imposait donc.

Cet index, d'ailleurs, est bien loin de comprendre toutes les variations, tous les aléas qui menacent les distributeurs d'énergie. Il ne comprend pas, notamment, le taux du loyer de l'argent qui est un facteur capital touchant notre industrie.

BESOINS DE CAPITAUX. — En effet, ce qui caractérise notre industrie — et ce sur quoi le Syndicat se permet d'insister — c'est le besoin incessant de nouveaux capitaux, même

(1) Bulletin R. G. E., 8 avril 1922, t. XI, p. 112B.

dans les affaires anciennes où il faut constamment augmenter la capacité des lignes, faire de nouveaux postes de transformateurs, acheter des compteurs, etc..., toutes dépenses qui se chiffrent par millions.

Pour les usines hydrauliques, les frais de premier établissement ont augmenté dans des proportions considérables et la sécheresse exceptionnelle de l'année 1921 prouve qu'elles doivent presque toujours être doublées par de puissantes usines de secours.

En résumé, dans les entreprises de production et de distribution d'énergie électrique, il faut, tous les dix ans, presque doubler les capitaux investis si on veut que les moyens de production continuent de correspondre aux besoins.

PROGRAMME D'AVENIR. — Ces besoins de capitaux s'accroissent dans des proportions bien plus considérables encore, si l'on n'envisage pas seulement les distributions existantes, et si l'on veut, en outre, exécuter tout le programme qui reste à réaliser pour électrifier la plus grande partie de la France. Actuellement, en effet, sur 36 000 communes, 6 000 tout au plus sont électrifiées ; 30 000 communes sont sans électricité et, parmi elles, la plupart des communes les plus intéressantes, les communes rurales. La tâche de demain est d'étendre le bénéfice de la distribution d'électricité à l'agriculture qui manque de main-d'œuvre et qui trouvera dans l'électricité un secours puissant.

Mais cela ne va pas sans des frais immenses.

Le ministre des Travaux publics a créé, l'année dernière, une commission présidée par M. l'inspecteur général Monmerqué, qui a étudié le programme d'électrification de la France à réaliser pendant les quinze années à venir. Ce programme se monte à un total de 15 milliards de francs, soit un milliard par an. Est-ce le budget qui peut faire les frais de ces 15 milliards ? Cela paraît impossible. C'est aux distributeurs d'énergie à les trouver.

On veut actuellement réaliser l'œuvre nationale de l'aménagement du Rhône. On demande aux distributeurs d'énergie le quart du capital, soit 90 000 000 fr !

CONCLUSIONS. — Donc, que ce soit pour augmenter la capacité des distributions existantes, qu'il s'agisse d'en créer de nouvelles, que l'on veuille aménager le Rhône, on se trouve devant d'immenses besoins d'argent que l'on ne peut demander à l'impôt et que doivent fournir les distributeurs d'énergie.

Comment pourraient-ils le faire si on détruit leur crédit par des critiques faites dans un esprit de généralisation systématique, sans tenir compte de leurs difficultés ?

Pour trouver des sommes aussi considérables, il faut faire appel aux banques et au crédit public. Or, dans les conditions actuelles, les valeurs à revenu variable ont un taux de capitalisation très élevé ; il faut donc que les distributeurs d'énergie aient des tarifs leur permettant de donner des dividendes correspondant à ce taux de capitalisation, si l'on veut qu'ils trouvent les milliards dont la collectivité a besoin.

Il faut aussi qu'il y ait une certaine fixité dans leurs modalités d'exploitation et qu'on ne parle pas constamment d'en changer les principes. Qu'il y ait eu quelques erreurs ou certains abus dans l'application de l'index, c'est possible : une réforme de cette importance ne s'établit pas immédiatement dans toute la France sans quelques difficultés et quelques tâtonnements. Ce n'est pas au moment où précisément ces erreurs et tâtonnements sont corrigés, notamment par les mesures prises récemment à ce sujet par le ministre des Travaux publics, qu'il doit être question de revenir sur le principe et la conception même de l'index. Les distributeurs d'énergie ne pourraient pas rester de nouveau exposés à des aléas aussi formidables que ceux que comporte la situation actuelle et qui ne sont pas corrigés pour eux comme pour l'industrie privée par la liberté de leurs prix de vente.

Ils ont collaboré très activement à l'établissement des nouveaux cahiers des charges de juin 1921. Or, ceux-ci comportent des révisions périodiques soit des tarifs de base, soit de l'index ; ils contiennent donc contre les abus pos-

sibles la soupape de sûreté que l'on pouvait normalement demander. Aller plus loin, ruiner leur crédit, serait faire une œuvre dangereuse, non seulement pour eux-mêmes, mais pour la collectivité.

Or, c'est à cela qu'aboutirait inévitablement le projet de loi déposé par M. Néron et plusieurs de ses collègues.

PROPOSITION DE LOI NÉRON. — Notre Syndicat a déjà envoyé à M. le président et à M. le rapporteur de la Commission une note détaillée développant nos objections contre ce projet : il se bornera aujourd'hui à les résumer :

Les articles 1 et 2 ont pour but de supprimer brutalement sans aucune mesure transitoire, le régime des permissions de voirie non seulement pour l'avenir, mais dans le passé. Ils constituent une atteinte injustifiable au principe de la non-rétroactivité des lois ; ils aboutissent à la violation des engagements pris sous le régime de la loi de 1906 ou sous le régime des lois antérieures consacré notamment par l'article 26 de la loi de 1906. Il en résulterait une véritable expropriation sans indemnité, que n'a pas admise la loi d'octobre 1919 pour les chutes existant actuellement sur le domaine public, sous le régime de la simple permission.

Une pareille atteinte aux principes de notre droit paraît d'autant plus injustifiée qu'en fait les désirs des auteurs de la loi vont recevoir satisfaction.

La loi de 1906 laisse libre, en effet, les pouvoirs publics de refuser sans motif les permissions de voirie. Or, quand il s'agit de réseaux nouveaux, le ministre des Travaux publics refuse toutes les nouvelles permissions de voirie demandées, ce qu'admettent parfaitement les distributeurs d'énergie, en faisant observer simplement que les formalités nécessaires pour obtenir des concessions sont bien compliquées et bien longues pour de petites communes de moins de 500 habitants ou des lignes de moins d'un kilomètre.

S'il s'agit d'installations existant sous le régime de la permission de voirie, le ministre des Travaux publics saisit également l'occasion de chaque demande d'extension pour faire pression sur le demandeur, afin qu'il fasse passer son exploitation de la permission de voirie sous le régime de la concession d'Etat. Donc la situation de fait dont on se plaint actuellement non seulement ne s'étendra pas, mais est en train de disparaître très rapidement.

L'article 3 prévoit que les infractions aux cahiers des charges seront passibles, à l'avenir, du Code pénal et de la police correctionnelle ; il nous paraît également innover d'une manière dangereuse au point de vue juridique autant qu'inacceptable au point de vue pratique.

Tandis que la loi pénale n'est applicable que pour réprimer les violations de la loi, elle serait à l'avenir applicable aux violations de contrat. Comment pourrait-on trouver dans l'avenir des concessionnaires sérieux et honorables disposés à risquer plusieurs années de prison et l'interdiction de séjour parce que le courant est livré d'une manière irrégulière.

En ce qui concerne l'article 4, qui interdit toute entente amiable entre les communes concédantes et les concessionnaires, il nous paraît porter une atteinte grave aux libertés municipales et aux droits des pouvoirs concédants, précisément au moment où presque toutes des ententes ont déjà été réalisées ou sont sur le point de l'être.

Nous n'insistons pas davantage, mais l'adoption d'une pareille proposition de loi mettrait l'industrie des distributions d'énergie dans un tel péril qu'elle aboutirait à leur complète paralysie.

Les producteurs et distributeurs d'énergie électrique n'oublient pas qu'ils sont des concessionnaires de services publics : ils ont conscience des devoirs qu'ils ont à remplir envers la collectivité. Mais il ne faut pas que, parce qu'ils sont concessionnaires de services publics, on les attaque sans cesse, en généralisant quelques abus individuels. Il ne faut pas surtout que, par des mesures législatives improvisées, on supprime le crédit qui leur est indispensable pour permettre le développement des distributions d'énergie électrique en France, si nécessaire, non seulement aux grandes villes et à l'industrie, mais surtout aux communes rurales et à l'agriculture.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

l'Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 16.

22 AVRIL 1922.

Chronique. — Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. — Bibliographies : Traité d'électricité théorique, par Jacques CARVALLO; Cours de dessin industriel, par A. DRUOT et J.-L. LOUBIGNAC, p. 561-562.

Section scientifique et technique. — Essai d'une théorie générale des diagrammes vectoriels en électricité, par Léon OTS-CHEVALIER, p. 563. — Revues, analyses et informations : Sur la synchronisation harmonique des oscillateurs électriques, p. 578.

Section industrielle. — L'usine électrochimique de Lannemezan, par WATERNAUX, p. 579. — Sur l'harmonique 3 des transformateurs triphasés, p. 589. — Revues, analyses et informations : Sur un nouveau wattmètre, p. 592; Comparaison entre les types principaux d'isolateurs à suspension d'après les conclusions récentes de la technique, p. 592.

Section économique et financière. — Un office de liaison entre inventeurs et industriels, par FERNAND-JACQ, p. 597.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Arrêt de la Cour de Cassation concernant la recevabilité d'une requête civile, p. 599; Arrêt de la Cour de Cassation concernant l'application des relèvements des tarifs de vente de l'énergie électrique, p. 599; Arrêt de la Cour de Cassation concernant le compromis d'arbitrage, p. 599; Arrêt de la Cour de Cassation concernant la servitude de passage, p. 599; Décret instituant une commission interministérielle chargée d'établir un programme de la distribution de l'énergie électrique dans les campagnes, p. 600; Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux, p. 600; Sur le timbrage des pouvoirs de représentation aux assemblées générales, p. 600.

AVIS. — Messieurs les actionnaires de la « Revue générale de l'Electricité » sont convoqués en Assemblée générale ordinaire annuelle, conformément à l'article 30 des statuts, pour le samedi 13 mai 1922, à 11 heures, au siège social, 12, place de Laborde, à Paris.

L'assemblée générale se compose de tous les actionnaires quel que soit le nombre des actions possédées par eux.

Tout actionnaire, pour avoir le droit d'assister ou de se faire représenter à l'Assemblée générale, doit être inscrit sur les registres de la Société seize jours au moins avant celui fixé pour la réunion.

Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. — Séance du 25 mars 1922. — L'ordre du jour de cette séance portait une communication technique de M. LEINEKUGEL Le COQ sur les toitures supportées par des fermes de suspension isostatiques en câbles, pour hangars, ateliers, docks, etc.

Bien que le conférencier ait eu principalement en vue les grands hangars utilisés par l'aviation et l'aéronautique, le mode de construction qu'il préconise trouve nécessairement application dans l'édification des hangars, dont les dimensions, pour être plus modestes que celles des hangars précédents, n'en sont pas moins considérables, qu'exigent les ateliers modernes où circulent de puissantes grues mobiles ou de grands ponts roulants. Dans les deux cas, d'ailleurs, on se heurte aux difficultés résultant de l'action du vent aussi bien que de celles provenant de l'instabilité des terrains, les ateliers, les docks, les hangars pour avions étant généralement construits sur des terres rapportées ou gagnées sur la mer.

Ces difficultés sont économiquement surmontées si on recourt à l'emploi des câbles tant dans des plans horizontaux que dans des plans verticaux. Les premiers ont d'ailleurs déjà été employés pour contreventer le tablier du pont de Brooklyn à New-York (496 m de portée).

Il suffit de suspendre les surfaces à claire-voie, qui brisent les rafales de la tempête, par des câbles verticaux et d'équilibrer, par des câbles horizontaux, disposés en hauteur de distance en distance, la poussée horizontale du vent qui agit sur ces parois verticales.

C'est en 1833 que l'application d'une toiture suspendue a été faite pour la première fois, par l'ingénieur de la Marine, Laurent, à l'atelier de la Mâture de Lorient, qui existe encore. Cette date coïncide d'ailleurs à peu près avec le début de la construction des ponts suspendus.

En ce qui concerne l'action d'un vent horizontal soufflant en tempête, la toiture suspendue jouit d'un avantage considérable sur les toitures supportées car le poids suspendu, lorsqu'il est déplacé sous l'action d'une force extérieure, se comporte comme un pendule et revient à sa position initiale d'équilibre par le simple effet de la gravité lorsque la force extérieure cesse d'agir.

Il suffit, pour combattre l'effet du vent horizontal, que les sommets des pylônes extérieurs à la surface couverte et où se fixent les câbles de suspension de la toiture, soient maintenus en équilibre, ce qui est facilement réalisable puisque la concentration en ces sommets du poids de la toiture crée une composante verticale d'autant plus importante que ce poids est plus grand et que le hangar est plus vaste.

Quant aux composantes obliques du vent qui se reportent en ces sommets, elles ont toujours une valeur relativement faible et elles peuvent être équilibrées, simplement et économiquement, par des câbles de retenue. Il importe peu, par conséquent, que la toiture soit à 10 ou à 50 m au-dessus du sol : ses éléments constitutifs sont les mêmes.

Pour combattre l'effet du vent ascendant, qui s'engouffre dans les hangars et en emporte quelquefois la couverture, il suffit de tenir compte de ce que sa pression ne dépasse jamais $50 \text{ kg} : \text{m}^2$ et d'alourdir suffisamment la couverture en la constituant, comme l'a fait M. Minard, à Cherbourg, de grandes tuiles en béton de ciment armé, à emboîtement comme la tuile mécanique de Bourgogne et parfaitement étanches, pesant par mètre carré 50 kg et couvrant chacune $1,30 \text{ m}^2$ environ.

Un autre avantage du système est l'amovibilité complète de la construction : tous ses éléments se montent, se démontent et se remontent sans qu'on ait à mettre hors service aucun élément de la superstructure.

Une autre condition indispensable est en outre satisfaite : l'indéformabilité des fermes de suspension et par suite, de l'ensemble de la couverture ; on peut donc couvrir et éclairer au moyen de larges bandes vitrées sans craindre une déformation ou une rupture sous l'action des surcharges, même très dissymétriques, quelles qu'elles soient.

M. Leinekugel Le Cocq décrit en terminant quatre types de hangars qu'il a construits et dans lesquels les conditions précitées ont été réalisées. Ce sont : 1° Hangar du centre d'hydravions de Cherbourg. — Ouverture, 60 m ; hauteur sous entrail, 8 m ; largeur, 32 m ; surface couverte sans aucun montant intermédiaire, $1\,920 \text{ m}^2$; fermes de suspension en arcs doubles à trois rotules et à câbles continus. Ces fermes sont complètement isostatiques et indéformables entre les limites d'élasticité et leurs éléments. La toiture comporte, au droit des tiges de suspension des montants verticaux de ces fermes, des fermes métalliques transversales qui sont aussi à trois articulations et sur lesquelles viennent se fixer les pannes, distantes de 3 m , qui portent une couverture en grandes tuiles de béton de ciment armé, couvrant chacune $3,74 \text{ m}^2$. Pour le montage, les fermes de suspension en câbles ont été assemblées à terre.

2° Hangar pour hydravions d'Hourlin. — Ce hangar est à deux nefs accolées ; il démontre la possibilité d'accroître l'aire de la surface couverte sans rien changer au système ni rien perdre de ses avantages, car on peut construire les nefs accolées successivement aussi bien que simultanément. Le système est le même que dans le type précédent. La surface totale couverte est de $2\,400 \text{ m}^2$.

3° Hangar du port d'attache pour hydravions de Karouba, près de Bizerte. — Ce hangar-atelier se compose de cinq nefs de 20 m de largeur, trois nefs médianes de chacune 71 m de portée et deux nefs extrêmes de $20,50 \text{ m}$. La hauteur sous entrail, prévue d'abord de 10 m , est actuellement portée à 12 m sans qu'on ait rien eu à changer à la couverture : il a suffi d'augmenter la hauteur des pylônes métalliques et la longueur des câbles de retenue ; on a déposé le tout sur le sol et on a remis au levage les éléments comme lors du premier montage. La surface totale couverte est de $10\,160 \text{ m}^2$.

4° Hangar de l'école d'aviation d'Elampes. — Ici, il y a quatre nefs accolées deux à deux, couvrant $7\,600 \text{ m}^2$ avec un seul pylône central au point de croisement des diagonales du rectangle couvert. Le socle de ce pylône mesure $1,20 \text{ m} \times 1,20 \text{ m}$.

Bibliographie : Traité d'électricité théorique, par Jacques CARVALLO, agrégé de l'Université, docteur ès sciences physiques, directeur aux ateliers de Paris de la Maison Bréguet (1). — Dans la préface, l'auteur informe le lecteur que ce traité est la reproduction assez fidèle des leçons qu'il a professées pendant dix années consécutives, à l'Ecole spéciale de Mécanique et d'Electricité, devant un auditoire composé essentiellement de candidats à l'Ecole supérieure d'Electricité de Paris. S'adressant à des jeunes gens sortant, pour la plupart, de la classe des mathématiques des lycées, l'auteur s'est efforcé de graduer avec soin les difficultés mathématiques que l'on rencontre en physique, de manière à permettre au lecteur d'acquérir, progressivement et parallèlement, les connaissances de mathématiques générales indispensables à l'ingénieur.

L'ouvrage est divisé en trois parties et comporte en tout dix-sept chapitres.

Après une introduction traitant du principe de la conservation de l'énergie, l'auteur aborde dans la première partie le travail électrique et la distribution des courants dans les conducteurs. Dans un des chapitres de cette partie sont décrites les différentes méthodes industrielles employées pour la mesure des résistances et des capacités, car un des buts poursuivis par l'auteur, dans cet ouvrage, est de préparer l'élève au titre d'ingénieur et, par conséquent, de lui assimiler en même temps la pratique et la théorie sur un même sujet.

La seconde partie a pour titre : le champ électrique. L'auteur y développe les lois de l'électrostatique. Dans la troisième partie qui a pour titre le champ magnétique, il développe les lois et les applications de l'électromagnétisme.

Bibliographie : Cours de dessin industriel, par A. Duvot, inspecteur général de l'Enseignement technique, et J.-L. LOUBIGNAC, professeur de dessin et de technologie à l'Ecole nationale des Arts et Métiers de Lille (2). — Dans cet ouvrage, les auteurs ont groupé, dans l'ordre qui leur a semblé le plus logique et d'une manière plus explicite qu'on ne peut le faire dans un cours de dessin, les conseils, les instructions, les observations, les procédés, les remarques, etc., que l'expérience leur a suggérés au cours de leur propre enseignement.

L'ouvrage est divisé en quatre parties. Les trois premières se rapportent à l'outillage du dessinateur, au croquis coté, à la mise au net et à la lecture des dessins. La quatrième renferme quelques questions plus spéciales qui n'ont pu trouver place dans le cadre précédent et que les apprentis dessinateurs ont cependant grand intérêt à connaître ; ce sont les règles du système international de filetage, les conventions relatives au dessin de charpente et à la représentation schématique des appareils et des installations électriques, les principaux modes de reproduction des dessins industriels et la pratique du travail dans les bureaux d'études. La table des matières, suffisamment détaillée, permet aux élèves une consultation facile et rapide de ces divers points.

(1) Un volume, format $26 \text{ cm} \times 17 \text{ cm}$, 548 pages, 303 figures. Edité par la librairie Dunod, 47, quai des Grands-Augustins, Paris (VI^e). Prix : 48 fr.

(2) Un volume, format $25 \text{ cm} \times 17 \text{ cm}$, 208 pages, 281 figures. Edité par la librairie de l'Enseignement technique, Léon Eyrolles, 3, rue Thénard, Paris. Prix : 12,50 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Essai d'une théorie générale des diagrammes vectoriels en électricité

Dans cette deuxième partie de son étude générale sur les diagrammes (voir première partie : R. G. E. des 6 et 13 mars 1920, t. VII, p. 315-321 et p. 347-357), l'auteur examine principalement : 1° Le tracé des diagrammes : hyperbolique, fermé du quatrième degré et de leurs inverses ; 2° La mesure des variables : couples, puissances et pertes relatives à chaque point des diagrammes. Cette mesure est remarquablement simple dans le cas des diagrammes circulaires.

Introduction. — PLAN. — Cette deuxième partie de notre étude générale sur les diagrammes, comprendra cinq chapitres traitant principalement des questions suivantes :

A) *Du tracé des diagrammes.* — Tracé des diagrammes hyperbolique, fermé du quatrième degré et de leurs inverses.

B) *De la variable.* — Mesure de la variable considérée en chaque point des diagrammes.

C) *Des fonctions de courants.* — Mesure du couple, des puissances et des pertes en chaque point des diagrammes.

D) *Des applications.* — Application des conclusions générales précédentes à des moteurs définis, en particulier aux trois suivants : série simple monophasé, asynchrone polyphasé, à répulsion compensé Latour.

E) *Appendice.* — Du nombre de paramètres déterminants les diagrammes.

NOTATIONS. — Toutes les fonctions utilisées ne sont tributaires que d'une seule variable représentée d'une manière générale par w ; nous ne mettons pas celle-ci en évidence, mais les degrés des polynômes qui, eux, jouent un rôle prépondérant dans la discussion. C'est ainsi que $a(s)$ désigne un polynôme de degré s en w .

Nous conviendrons de représenter les grandeurs vectorielles, ainsi que leurs expressions en notations imaginaires, par des lettres majuscules italiques, affectées d'indices ou non. Nous réserverons les lettres : Z pour les impédances, E et V pour les tensions, I et J pour les courants. Ces vecteurs seront rapportés à un système déterminé d'axes rectangulaires. Leurs composantes suivant ces axes seront représentées par les mêmes lettres affectées l'une d'un accent, l'autre de deux accents. De sorte que les expressions imaginaires de ces vecteurs pourront se décomposer, comme l'indiquent, par exemple, les formules suivantes

$$A \equiv A' + jA'',$$

$$I_3 \equiv I'_3 + jI''_3,$$

la lettre j désignant la fonction symbolique $\sqrt{-1}$.

Par extension, nous écrirons identiquement, pour une fonction complexe,

$$\frac{A+B}{C.D} \equiv \left(\frac{A+B}{C.D}\right)' + j \left(\frac{A+B}{C.D}\right)''.$$

Les lettres majuscules, ou fonctions de telles lettres, affectées d'un ou de deux accents, représentent donc généralement des composantes suivant les axes, c'est-à-dire des grandeurs réelles. Par exception, pour nous conformer à ce que l'on fait habituellement, nous représenterons les composantes des impédances Z , résistances et réactances, par les lettres R et X . Nous poserons donc, par exemple

$$Z \equiv R + jX,$$

$$Z_n \equiv R'_n + jX'_n.$$

De sorte que les lettres R et X avec ou sans accent sont toujours des termes réels ; tandis que la lettre Z , même accentuée, représente toujours une impédance imaginaire.

Le module d'une imaginaire sera représenté par la même expression entre guillemets, ainsi nous écrirons identiquement

$$« D » \equiv \sqrt{D'^2 + D''^2},$$

$$« Z_i^2 » \equiv R_i^2 + X_i^2.$$

Les lettres L , M et \mathfrak{M} seront réservées pour représenter respectivement les coefficients de self-induction, d'induction mutuelle et d'induction dynamique.

Nous rapporterons les vecteurs de courant à un système de deux axes perpendiculaires : — i' Oi' et — i'' Oi'' (fig. 1). L'axe Oi' indique la direction des vecteurs I' , en phase avec la tension E en fonction de laquelle I est exprimé ; l'axe Oi'' indique celle des vecteurs I'' déphasés de 90° en avant sur cette tension. Le sens positif des angles (voir flèche de la fig. 1) est celui admis habituellement.

Nous traçons l'axe des E ou axe de départ Oi' verticalement, comme on le fait généralement pour les diagrammes.

Le courant I de la figure 1, représenté par le vecteur OI , est déphasé en retard d'un angle φ sur l'axe Oi' , c'est-à-dire sur E .

Ses composantes OI' et OI'' suivant les axes Oi' et Oi'' représentent en grandeur et direction les compo-

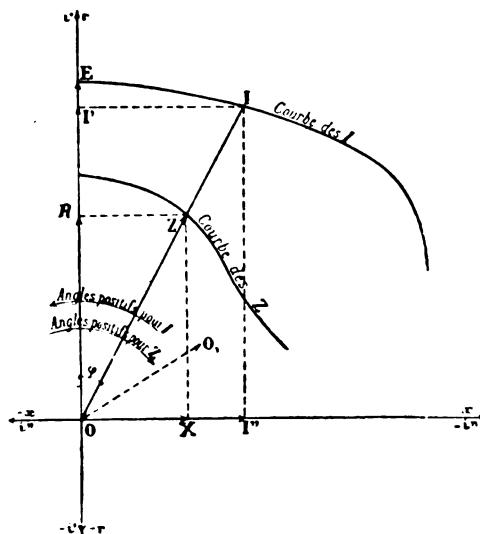


Fig. 1. — Diagrammes de courant et d'impédance.

santes I' et I'' de l'expression imaginaire correspondante

$$I = I' + jI''.$$

Dans le cas de la figure, I' est positif, mais I'' est négatif.

Le module « I » est représenté par la longueur OI et l'argument, par l'angle $(-\varphi)$ du vecteur OI avec Oi' .

La grandeur et la direction du courant I d'une machine varient généralement en fonction d'une variable indépendante w bien déterminée ⁽¹⁾.

Dans ces conditions, on appelle diagramme du courant I le lieu géométrique de l'extrémité I de son vecteur représentatif OI lorsque w varie de $-\infty$ à $+\infty$.

Dans le cas de la figure 1, ce diagramme est représenté par la courbe supérieure.

Le rapport entre la tension E et le courant I est homogène à une impédance,

$$Z = \frac{E}{I},$$

que nous pouvons décomposer en une résistance R et une réactance X telles que l'on ait :

$$Z = R + jX.$$

(1) Exemples de variables indépendantes : la vitesse de rotation, le glissement, etc., dans le cas d'une machine tournante; la résistance du circuit secondaire, dans le cas d'un transformateur, etc...

Cette impédance apparente du circuit considéré peut également être représentée vectoriellement.

Comme son argument (déphasage par rapport à R) est égal, mais de signe contraire, à celui du courant I , il faudrait logiquement tracer son vecteur représentatif de l'autre côté de l'axe de départ OE ; néanmoins, pour la facilité et la clarté des figures, nous conviendrons de porter le vecteur OZ représentatif de Z suivant la direction OI (fig. 1). Ses composantes R et X seront représentées par les composantes vectorielles OR et OX suivant les axes.

Dans ces conditions, l'axe $-i'Oi'$ peut être considéré comme un axe de résistance $-rOr$ et l'axe $-i''Oi''$, comme un axe de réactance, mais de signe contraire, $xO - x$.

En d'autres termes, quand il s'agit d'impédances, nous conserverons l'axe de départ vertical Oi' devenu Or , mais nous compterons les angles de déphasage en sens inverse de celui admis habituellement (flèche fig. 1).

Avec ces conventions, il est nécessaire de toujours bien préciser si le vecteur considéré représente un courant ou une impédance.

Au diagramme de courant correspond un diagramme d'impédance. Ces deux courbes sont inverses l'une de l'autre par rapport à l'origine O des vecteurs.

Nous étudierons parallèlement ces deux diagrammes parce que souvent le diagramme d'impédance est plus simple et peut servir au tracé de celui de courant.

DE LA FORME DES DIAGRAMMES. — Rappelons succinctement nos conclusions générales concernant la forme des diagrammes.

La résolution des équations de la machine considérée (t. VII, p. 316) donne, pour les courants I des différents circuits, des expressions de la forme

$$I = E \frac{A_0 + A_1w + A_2w^2 + \dots + A_mw^m}{B_0 + B_1w + B_2w^2 + \dots + B_nw^n} \equiv E \frac{A(m)}{B(n)} \quad (5)$$

ayant toutes le même dénominateur et, pour les impédances Z correspondantes, des expressions de la forme

$$Z = \frac{B_0 + B_1w + B_2w^2 + \dots + B_nw^n}{A_0 + A_1w + A_2w^2 + \dots + A_mw^m} \equiv \frac{B(n)}{A(m)} \quad (6)$$

Les propriétés principales des diagrammes correspondants dépendent des degrés m et n des deux termes, des nombres m' et n' de leurs racines réelles, ainsi que des nombres m'' et n'' des racines réelles différentes de ces termes (t. VII, p. 319). Or, ces nombres peuvent se déduire, sans calculs, des équations de la machine et même simplement de la disposition de ses circuits (t. VII, p. 321).

Nous désignons sous le nom de machines du premier genre, celles pour lesquelles les tensions agissant dans chacun de leurs circuits entiers sont fonction des courants de tous les circuits (t. VII, p. 320) et même,

par extension, les machines pour lesquelles le dénominateur commun des formules des courants est sans

rectiligne (fig. 2) (t. VII, p. 348), circulaire (fig. 3) (t. VII, p. 349), parabolique (fig. 4) (t. VII, p. 351) et leurs inverses. Dans cette deuxième partie, nous donnerons le tracé général du diagramme hyperbolique (fig. 5) et de son inverse, ainsi que du diagramme fermé du quatrième degré et, succinctement, le diagramme elliptique et ceux du troisième degré.

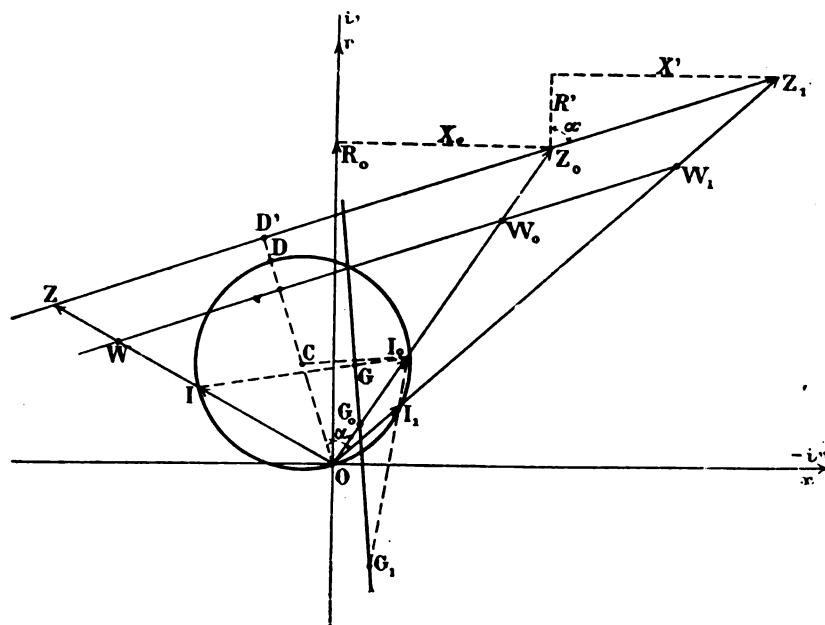


Fig. 2. — Diagramme rectiligne et son inverse.

racine et d'un degré au moins égal à celui des numérateurs, c'est-à-dire que l'on a, pour tous les circuits,

$$m \leq n \text{ et } n' = n'' = 0.$$

Les diagrammes de ces machines ont des propriétés très caractéristiques; en particulier, leurs diagrammes de courants sont toujours fermés et de degrés pairs.

Or, la plupart des machines pratiques sont du premier genre; comme d'ailleurs le degré de leurs diagrammes dépasse rarement le quatrième, il en résulte qu'en pratique on n'aura généralement à considérer, pour les courants, que le diagramme circulaire et le diagramme fermé du quatrième degré. D'ailleurs, les diagrammes d'impédance n'ont guère d'intérêt que, lorsqu'ils sont plus simples que ceux de courants, de permettre de tracer ces derniers par inversion.

C'est pourquoi nous étudions d'une façon spéciale les diagrammes d'impédance du premier et du second degré, dont les inverses de courant sont précisément les diagrammes circulaire et fermé du quatrième degré.

Nous avons examiné précédemment les diagrammes

gramme du courant. C'est le seul cas possible pour les machines du premier genre.

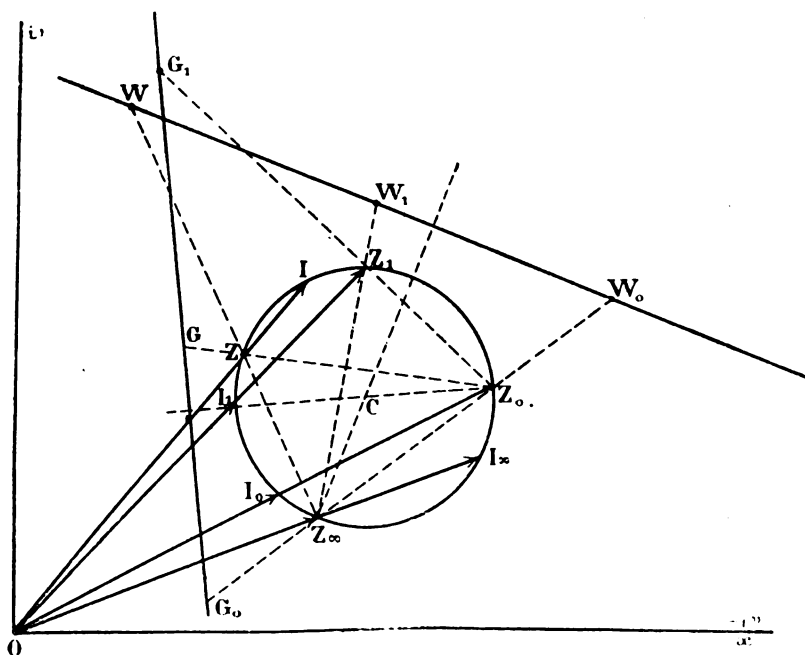


Fig. 3. — Diagramme circulaire et son inverse.

DIAGRAMME D'IMPÉDANCE. — Ce diagramme est une courbe ouverte ($m < n$ ou $m' > 0$) à deux branches ($m'' = 2$ pour $n \leq m$; $m'' = 1$ pour $n > m$), ne pas-

A. DU TRACÉ DES DIAGRAMMES.

I. Diagramme hyperbolique et son inverse. — Nous n'avons en vue ici que le diagramme hyperbolique du second degré que, pour plus de généralité, nous supposons ne pas passer par l'origine.

Comme nous l'avons fait pour les autres diagrammes, en vue de préciser et de simplifier, nous supposons qu'il s'agit d'un diagramme hyperbolique d'impédance et de son inverse, le diagramme du courant. C'est le seul cas possible pour les machines du premier genre.

sant pas par l'origine ($m < n$ et $n' = p$), du second degré ($2m - m'' = 2$) ou ($m + n - m' = 2$) (t. VII, p. 319) ⁽¹⁾.

Il en résulte deux cas et, par suite, deux formules :

1° $n = 2$ et $m = m' = m'' = 1$, ce qui donne

$$Z = \frac{B_0 + B_1 w + B_2 w^2}{A(w - \alpha)}. \quad (7)$$

2° $n = m = m' = m'' = 2$, ce qui donne

$$Z = \frac{B_0 + B_1 w + B_2 w^2}{A(w - \alpha)(w - \beta)}. \quad (8)$$

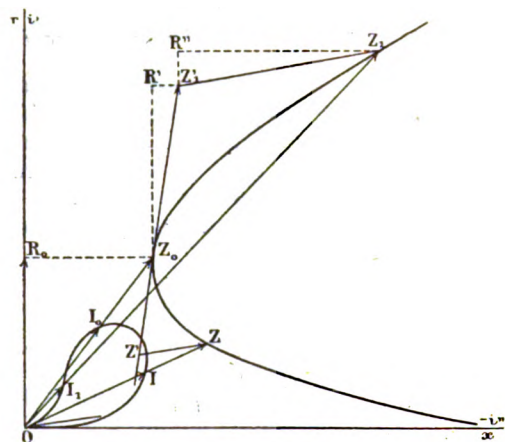


Fig. 4. — Diagramme parabolique et son inverse.

Premier cas. — La formule (7) peut s'écrire sous la forme suivante ne comprenant que des impédances

$$Z = \frac{Z^0 + Z'w + Z''w^2}{w - \alpha}. \quad (9)$$

On pourrait tracer la parabole

$$Z^0 + Z'w + Z''w^2,$$

comme nous l'avons vu (fig. 4), puis diviser chaque vecteur par la valeur correspondante de l'expression $w - \alpha$. On obtiendrait ainsi l'hyperpole cherchée, par points successifs.

En pratique, on préférera généralement déterminer certains de ses *points caractéristiques*, ainsi que ses éléments principaux, tels que le *centre* et les *asymptotes*. Pour $w = 0$ et $w = 1$, il vient respectivement

$$Z_0 = \frac{Z^0}{-\alpha},$$

$$Z_1 = \frac{Z^0 + Z' + Z''}{1 - \alpha} = \frac{Z''_1}{1 - \alpha};$$

ce qui donne les points Z_0 et Z_1 (fig. 5) ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Les pages indiquées entre parenthèses se rapportent à l'article paru dans *R. G. E.*, 6 et 13 mars 1920, t. VII, p. 315-321 et 347-357.

⁽²⁾ La figure 5 se rapporte au cas particulier où $\alpha = -0,5$; par suite, on a $Z_0 = 2Z^0$; $Z_1 = \frac{Z^0 + Z' + Z''}{1,5} = \frac{Z''_1}{1,5}$.

La direction de la tangente (t. VIII, p. 347) en un point quelconque est donnée par le numérateur ⁽¹⁾ de la dérivée de Z par rapport à w ,

$$\left. \begin{aligned} (Z' + 2Z''w)(w - \alpha) - (Z^0 + Z'w + Z''w^2) \\ = Z''(w - \alpha)^2 - (Z^0 + Z'\alpha + Z''\alpha^2) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Ainsi, en Z_0 et Z_1 les tangentes sont respectivement parallèles à

$$Z^0 + Z'\alpha,$$

et à

$$Z^0 + Z'\alpha + Z''(2\alpha - 1)^2.$$

Considérons deux points du diagramme, correspondant aux valeurs w et w' de la variable. Pour que les tangentes en ces points soient parallèles, il suffit que leurs directions, données par l'expression (10), soient égales, c'est-à-dire que l'on ait

$$(w' - \alpha)^2 = (w - \alpha)^2;$$

soit

$$w' = w,$$

ou bien

$$w' = 2\alpha - w. \quad (11)$$

Cette dernière relation est relative au cas de deux points situés aux extrémités d'un même diamètre.

Le centre du diagramme se trouve donc au point milieu d'un de ces diamètres, de sorte que sa position s'exprime par

$$\frac{1}{2} (Z_w + Z_{2\alpha-w})$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{Z^0 + Z'w + Z''w^2}{w - \alpha} + \frac{Z^0 + Z'(2\alpha - w) + Z''(2\alpha - w)^2}{\alpha - w} \right]$$

$$= Z' + 2\alpha Z'' \quad (3).$$

Il se détermine donc par le tracé $OZ'C$ (fig. 5).

Les directions des asymptotes correspondent à $w = \infty$ et $w = \alpha$; soit à

$$Z'' \quad \text{et à} \quad Z''_\alpha = Z^0 + \alpha Z' + \alpha^2 Z'' \quad (4).$$

Le vecteur $Z''\alpha$ est déterminé par le tracé $OZ^0Z'_\alpha Z''_\alpha$ (fig. 5).

⁽¹⁾ Parce que le dénominateur est une expression algébrique réelle.

⁽²⁾ Pour $\alpha = -0,5$ (fig. 5), les tangentes en Z_0 et Z_1 sont donc respectivement parallèles à

$$Z^0 - 0,5 Z' \quad \text{et} \quad Z^0 - 0,5 Z' - 2 Z''.$$

⁽³⁾ Pour $\alpha = -0,5$ (fig. 5), le centre C est donc donné par $Z' - Z''$.

⁽⁴⁾ Pour $\alpha = -0,5$, on a Z'' et $Z^0 - 0,5 Z' + 0,25 Z''$.

Les asymptotes sont donc les parallèles CN_∞ et CN_α à Z' et Z''_α .

Ces asymptotes étant déterminées et l'un des points Z_0 ou Z_1 étant connu, on pourra tracer facilement l'hyperbole cherchée.

Deuxième cas. — La formule (8) peut s'écrire

$$Z = \frac{Z^0 + Z'w + Z''w^2}{(w - \alpha)(w - \beta)}. \quad (13)$$

Cette formule correspond à la forme (9) pour $\beta = \infty$. D'ailleurs, elle peut s'écrire sous cette dernière forme en y remplaçant w par $\beta + 1/v$.

Elle devient, en effet, dans ces conditions

$$\frac{Z'' + (Z' + 2\beta Z'')v + (Z^0 + \beta Z' + \beta^2 Z'')v^2}{(\beta - \alpha) \left[v - \frac{1}{\alpha - \beta} \right]}. \quad (14)$$

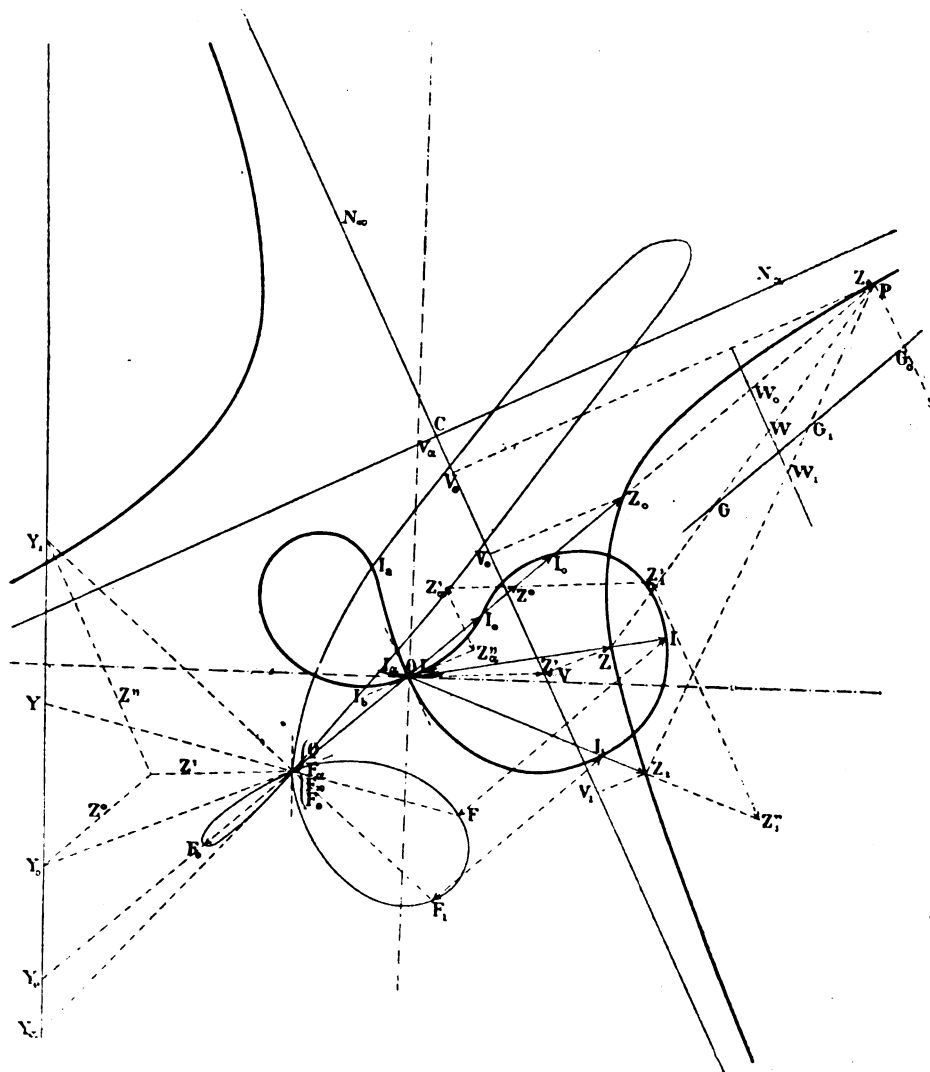


Fig. 5. — Diagramme hyperbolique, son inverse, une caractéristique.

Il en résulte que toutes les formules que nous avons trouvées dans le cas précédent s'appliquent ici ; il suffit d'y remplacer les inconnues et leurs coefficients par les valeurs qu'ils ont dans l'expression (14) comparée à la forme (9). Ainsi, les valeurs de v et v' , relatives à deux points aux extrémités d'un même diamètre, sont liées entre elles par la relation (11), qui s'écrit ici

$$v' = \frac{2}{\alpha - \beta} - v,$$

ou bien, en remplaçant v et v' par leurs valeurs en fonction de w ,

$$\frac{1}{w' - \beta} = \frac{2}{\alpha - \beta} - \frac{1}{w - \beta},$$

relation qui peut s'écrire

$$2\alpha\beta - (\alpha + \beta)(w + w') + 2ww' = 0. \quad (15)$$

De même l'expression (12) du centre C devient ici d'après (14)

$$\left. \begin{aligned} \frac{Z' + 2\beta Z''}{\alpha - \beta} + \frac{2}{\alpha - \beta} \cdot \frac{Z^0 + \beta Z' + \beta^2 Z''}{\alpha - \beta}, \\ = \frac{2Z^0 + (\alpha + \beta)Z' + 2\alpha\beta Z''}{(\alpha - \beta)^2}. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Les formules (15) ou (16) permettront donc de déterminer le centre de l'hyperbole.

Les directions de ses asymptotes correspondant à $w = \alpha$ et $w = \beta$, sont données par

$$\left. \begin{aligned} Z''_{\alpha} &= Z^0 + \alpha Z' + \alpha^2 Z'', \\ Z''_{\beta} &= Z^0 + \beta Z' + \beta^2 Z''. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Les asymptotes seront donc les parallèles à ces directions tracées par C.

Cela étant, l'hyperbole sera complètement déterminée si l'on en connaît un point quelconque. Il suffira, par exemple, de déterminer l'un des points caractéristiques correspondant à $w = 0$; $w = \infty$ ou $w = 1$, savoir, le point Z_0 correspondant à $\frac{Z^0}{\alpha - \beta}$, le point Z_{∞} correspondant à Z'' ou le point Z_1 correspondant à

$$\frac{Z^0 + Z' + Z''}{(1 - \alpha)(1 - \beta)}.$$

On remarquera que le point Z_{∞} correspondant à $w = \infty$ se trouve à une distance finie sur le diagramme (1).

Formules générales des courbes du second degré. — Les expressions (8) et (13) peuvent s'écrire sous la forme suivante générale à toutes les courbes du second degré

$$Z = \frac{Z^0 + Z'w + Z''w^2}{a_0 + a_1w + a_2w^2}. \quad (18)$$

Sa résolution se ramène à la précédente par la détermination des racines α et β du dénominateur. Cette détermination n'est pas nécessaire pour les formules ne contenant des termes en α et β que sous l'une des formes suivantes : $\alpha + \beta$, $\alpha\beta$ et $(\alpha - \beta)^2$; on a, en effet,

$$\alpha + \beta = -\frac{a_1}{a_2}; \quad \alpha\beta = \frac{a_0}{a_2} \quad \text{et} \quad (\alpha - \beta)^2 = \frac{a_1^2 - 4a_0a_2}{a_2^2},$$

Ainsi l'expression (15) relative aux points à l'extrémité d'un même diamètre s'écrit

$$2a_0 + a_1(w + w') + 2a_2ww' = 0. \quad (19)$$

et l'expression (16), du centre C devient

$$\frac{2a_1Z^0 - a_1Z' + 2a_0Z''}{-(a_1^2 - 4a_0a_2)}. \quad (20)$$

(1) Voir exemple figure 17.

Ces formules (19) et (20) sont absolument générales et s'appliquent même à l'ellipse, qui correspond au cas où les racines α et β du dénominateur de (10) sont imaginaires.

DIAGRAMME INVERSE DE COURANT. — Les formules de courant correspondant à celles (9), (13) et (18) de Z sont respectivement,

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{E(w - \alpha)}{Z^0 + Z'w + Z''w^2}, \\ I &= \frac{E(w - \alpha)(w - \beta)}{Z^0 + Z'w + Z''w^2}, \\ I &= \frac{E(a_0 + a_1w + a_2w^2)}{Z^0 + Z'w + Z''w^2}. \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

On tracera le diagramme d'impédance inverse, comme nous l'avons vu ci-dessus, puis on en déduira, point par point, le diagramme de courant, par inversion par rapport à l'origine (fig. 5).

Cette construction montre que la courbe a un point double en O où les tangentes sont parallèles aux asymptotes de l'hyperbole inverse.

II. Diagramme fermé du quatrième degré. — Pour préciser et simplifier, nous supposons qu'il s'agit d'un *diagramme de courant I*, par exemple d'une machine de premier genre.

Ce diagramme fermé ($m \leq n$ et $n' = 0$), du quatrième degré ($2n = 4$), a une expression de la forme

$$I = \frac{A_0 + A_1w + A_2w^2}{B_0 + B_1w + B_2w^2}. \quad (22)$$

Son dénominateur est sans racine réelle, son numérateur peut en avoir ou non, suivant la position du point pris pour origine.

Son tracé peut se ramener à celui des expressions (21) ci-dessus, grâce à la propriété caractéristique suivante (1).

PROPRIÉTÉ. — *Tout diagramme fermé du quatrième degré est l'inverse, par rapport à un point déterminé du plan, d'une courbe du second degré.*

Pour démontrer cette propriété, il suffit de prouver que l'expression (22) de I peut s'écrire sous la forme suivante

$$I = D + K \frac{a_0 + a_1w + a_2w^2}{B_0 + B_1w + B_2w^2}, \quad (23)$$

dans laquelle le premier terme D exprime le point par

(1) L'expression de I peut, dans certains cas déterminés, se décomposer en deux diagrammes circulaires, et s'écrire sous la forme

$$I = \frac{C_0 + C_1w}{D_0 + D_1w} + \frac{G_0 + G_1w}{H_0 + H_1w}.$$

Une telle décomposition peut également servir au tracé de ce diagramme.

rapport auquel on fait l'inversion et le second terme, l'inverse d'une courbe du second degré.

Pour cela on doit avoir identiquement

$$I = \frac{A_0 + A_1 w + A_2 w^2}{B_0 + B_1 w + B_2 w^2} \\ \equiv \frac{D(B_0 + B_1 w + B_2 w^2) + K(a_0 + a_1 w + a_2 w^2)}{B_0 + B_1 w + B_2 w^2}; \quad (24)$$

d'où, en égalant les coefficients des différentes puissances de w , on aura les équations de conditions

$$\left. \begin{aligned} a_0 K + B_0 D &= A_0, \\ a_1 K + B_1 D &= A_1, \\ a_2 K + B_2 D &= A_2. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

L'élimination de K et de D entre ces trois équations donne la suivante, sous forme de déterminant

$$\begin{vmatrix} a_0 & B_0 & A_0 \\ a_1 & B_1 & A_1 \\ a_2 & B_2 & A_2 \end{vmatrix} = 0, \quad (26)$$

c'est-à-dire une relation de la forme

$$a_0 C_0 + a_1 C_1 + a_2 C_2 = 0,$$

qui peut se décomposer en deux équations algébriques de la forme

$$\left. \begin{aligned} a_0 C_0' + a_1 C_1' + a_2 C_2' &= 0, \\ a_0 C_0'' + a_1 C_1'' + a_2 C_2'' &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

C' et C'' exprimant les composantes de l'imaginaire C suivant nos conventions.

Ce système (27), de deux équations homogènes du premier degré en a_0 , a_1 et a_2 donnera pour ces inconnues des valeurs déterminées et toujours réelles. Il en résulte que l'identité (24) pourra toujours être vérifiée.

D'ailleurs il n'y a qu'une seule solution à la question (1).

(1) De cette propriété résulte l'équation analytique d'un diagramme fermé du quatrième degré. L'équation générale d'une courbe du second degré est de la forme

$$ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + 1 = 0.$$

Pour trouver celle de son inverse par rapport à l'origine, il suffit d'y remplacer x et y respectivement par

$$\frac{x}{x^2 + y^2} \quad \text{et} \quad \frac{y}{x^2 + y^2};$$

elle sera donc

$$\frac{ax^2 + bxy + cy^2}{(x^2 + y^2)^2} + \frac{dx + ey}{x^2 + y^2} + 1 = 0.$$

Si l'on transporte l'origine en un point de coordonnées α

TRACÉ. — En écrivant I sous la forme (23), on peut donc ramener son tracé à celui de la courbe H du second degré, rapportée au point D

$$H = \frac{B_0 + B_1 w + B_2 w^2}{K(a_0 + a_1 w + a_2 w^2)}, \quad (28)$$

dont il suffira ensuite de prendre l'inverse par rapport à ce point.

La détermination des coefficients inconnus : a_0 , a_1 , a_2 , D , K , se fera, avec le plus de précision, par la réso-

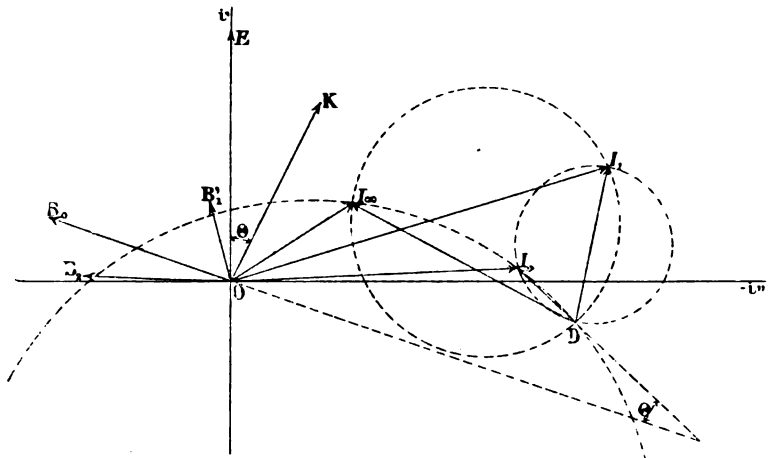


Fig. 6. — Diagramme fermé du quatrième degré (détermination du point double D).

lution des équations algébriques (27) et (25) ci-dessus.

Toutefois, dans le cas où l'on préfère une résolution plus graphique, on pourra opérer comme suit (1).

Déterminons directement par la formule (22), trois points quelconques du diagramme de I , par exemple, ceux pour lesquels $w = 0$, $w = \infty$ et $w = 1$ (fig. 6) dont les vecteurs correspondants valent

$$\left. \begin{aligned} I_0 &= \frac{A_0}{B_0} = D + K \frac{a_0}{B_0}, \\ I_\infty &= \frac{A_2}{B_2} = D + K \frac{a_2}{B_2}, \\ I_1 &= \frac{A_0 + A_1 + A_2}{B_0 + B_1 + B_2} = D + K \frac{a_0 + a_1 + a_2}{B_0 + B_1 + B_2}, \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

D'après ces formules, le point D cherché est tel que les vecteurs qui le joignent aux extrémités des vec-

et β , on aura pour l'équation générale cherchée

$$\frac{a(x-\alpha)^2 + b(x-\alpha)(y-\beta) + c(y-\beta)^2}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2]^2} + \frac{d(x-\alpha) + e(y-\beta)}{(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2} + 1 = 0.$$

Elle n'a donc que sept paramètres, alors qu'une courbe générale du quatrième degré peut en avoir quatorze (voir Appendice).

(1) Voir exemple d'application plus loin.

teurs I_0 , I_∞ et a_1 font entre eux les mêmes angles que les vecteurs de courant des seconds termes, savoir

$$\frac{1}{B_0}, \quad \frac{1}{B_2} \quad \text{et} \quad \frac{1}{B_0 + B_1 + B_2},$$

ou que les vecteurs d'impédance

$$B_0 \equiv B_2 \quad \text{et} \quad B_0 + B_1 + B_2 \equiv B'_1.$$

Traçons ces vecteurs (fig. 6).

Le point D se trouve donc sur la circonférence capable de l'angle B_0OB_2 et passant par I_0 et I_∞ ; ainsi que sur celle capable de l'angle B_0OB_1' et passant par I_0 et I_1 ; de même que sur celle capable de l'angle B_2OB_1' et passant par I_∞ et I_1 . Le point D sera donc déterminé par l'intersection de ces trois circonférences (1).

Ce point étant connu, traçons les vecteurs DI_0 , DI_∞ et DI_1 qui d'après (29) valent respectivement

$$\frac{Ka_0}{B_0}, \quad \frac{Ka_2}{B_2}, \quad \frac{K(a_0 + a_1 + a_2)}{B_0 + B_1 + B_2}.$$

La direction de K , vecteur de courant, en résulte; il fait avec Oi' un angle θ égal, par exemple, à celui formé par DI_0 et OB_0 (fig. 6). La grandeur de K est arbitraire, on la choisira au mieux. Les valeurs de a_0 , a_2 et a_1 seront données alors par les formules

$$a_0 = DI_0 \frac{B_0}{K},$$

$$a_2 = DI_\infty \frac{B_2}{K},$$

$$a_1 = DI_1 \frac{B_1'}{K} - (a_0 + a_2).$$

Les coefficients des formules (28) et (23) étant ainsi déterminés, le tracé des courbes correspondantes se fera comme nous l'avons vu plus haut.

D'ailleurs les points I_0 , I_∞ et I_1 déterminés ci-dessus pourront servir au tracé du diagramme et de son inverse par rapport au point D.

En ce qui concerne la forme de ces courbes, différents cas peuvent se présenter suivant les valeurs des racines α et β de la fonction algébrique

$$a_0 + a_1w + a_2w^2.$$

1° α et β sont réels et différents. — L'expression (23) de I peut s'écrire

$$I = D + K \frac{(w - \alpha)(w - \beta)}{B_0 + B_1w + B_2w^2};$$

elle montre que D est un point double du diagramme correspondant à $w = \alpha$ et $w = \beta$.

(1) Deux de ces circonférences suffisent naturellement pour déterminer le point D.

La formule (22) permettra d'ailleurs de vérifier que l'on a bien réellement

$$D = \frac{A_0 + A_1\alpha + A_2\alpha^2}{B_0 + B_1\alpha + B_2\alpha^2} = \frac{A_0 + A_1\beta + A_2\beta^2}{B_0 + B_1\beta + B_2\beta^2}.$$

La courbe inverse (28) s'écrira

$$H = \frac{B_0 + B_1w + B_2w^2}{K(w - \alpha)(w - \beta)}.$$

C'est une hyperbole; nous en avons vu le tracé page 566 et suivantes. Rappelons en particulier les formules :

a) De son centre (16) et (20) qui s'écriront ici

$$\frac{2B_0 + (\alpha + \beta)B_1 + 2\alpha\beta B_2}{K(\alpha - \beta)^2} = \frac{2a_2B_0 - a_1B_1 + 2a_0B_2}{-K(a_1^2 - 4a_0a_2)}; \quad (30)$$

b) Des directions de ses asymptotes

$$\frac{B_0 + \alpha B_1 + \alpha^2 B_2}{K} \quad \text{et} \quad \frac{B_0 + \beta B_1 + \beta^2 B_2}{K}; \quad (31)$$

elles expriment, d'ailleurs, également les directions des tangentes au point double D du diagramme.

2° α et β sont égaux. — L'expression (22) de I peut s'écrire

$$I = D + K \frac{(w - \alpha)^2}{B_0 + B_1w + B_2w^2}.$$

Le point D est un point singulier du diagramme et la courbe inverse est une parabole

$$P = \frac{B_0 + B_1w + B_2w^2}{K(w - \alpha)^2}.$$

En considérant comme variable $\frac{1}{w - \alpha}$, cette formule peut s'écrire sous la forme

$$P = \frac{B_2}{K} + \frac{B_1 + 2\alpha B_2}{K} \times \frac{1}{w - \alpha} + \frac{B_0 + \alpha B_1 + \alpha^2 B_2}{K} \times \frac{1}{(w - \alpha)^2}$$

dont nous avons donné le tracé direct (t. VII, p. 351).

La direction de son axe est donnée par

$$\frac{B_0 + \alpha B_1 + \alpha^2 B_2}{K};$$

cette direction est également celle de la tangente au point singulier D du diagramme.

3° α et β sont imaginaires. — Le point D est en dehors du diagramme et la courbe inverse est une ellipse. Le centre de cette ellipse est donné par la seconde des formules (30).

III. — Diagrammes du troisième degré. — Supposons, pour préciser, qu'il s'agisse d'un diagramme

d'impédance. C'est le seul cas possible pour les machines du premier genre.

Tout diagramme d'impédance du troisième degré ($2m - m' = 3$ ou $n + m - m' = 3$) sera de l'une des deux formes générales suivantes (t. VII, p. 319)

1° $m - m' = 0$ avec $m = 3$ et $n \leq 3$, ou $n = 3$ et $m \leq 3$.

$$Z = \frac{Z^0 + Z^1w + Z^2w^2 + Z^3w^3}{a_0 + a_1w + a_2w^2 + a_3w^3}; \quad (32)$$

2° $m - m' = 1$ avec : $m = 2$ et $n \leq 2$, ou $n = 2$ et $m \leq 2$,

$$Z = \frac{B_0 + B_1w + B_2w^2}{(A_0 + A_1w)(a_0 + a_1w)}. \quad (33)$$

1° *Forme (32).* — On tracera la courbe représentative du numérateur

$$Z_0 + Z^1w + Z^2w^2 + Z^3w^3$$

qui est une parabole du troisième degré. Son tracé est direct et absolument analogue à celui que nous avons donné pour la parabole du second degré. Puis, on divisera les vecteurs représentatifs de cette parabole par l'expression algébrique correspondante du dénominateur, ce qui déterminera autant de points que l'on veut du diagramme cherché.

2° *Forme (33).* — La propriété caractéristique des diagrammes fermés du quatrième degré s'étend à ceux du troisième de la forme (33) (1).

En effet, son inverse

$$\frac{(A_0 + A_1w)(a_0 + a_1w)}{B_0 + B_1w + B_2w^2}, \quad (34)$$

est l'expression d'un diagramme fermé du quatrième degré (passant par l'origine). Comme tel, il a un point double (ou singulier); il en sera donc de même de son inverse Z (33).

D'ailleurs, en reprenant la démonstration de la page 568, formule (23) on vérifiera facilement que l'expression (33) de Z , peut s'écrire sous la forme

$$Z = D + K \frac{b_0 + b_1w + b_2w^2}{(A_0 + A_1w)(a_0 + a_1w)},$$

c'est-à-dire que Z est l'inverse, par rapport à un de ses points D (double ou singulier), d'une courbe de second degré passant par ce point. Le point correspondant du diagramme Z se trouve à l'infini.

Son tracé est donc analogue à celui des diagrammes fermés du quatrième degré.

(1) Cette expression (33) du diagramme Z peut se décomposer en une circonférence et une droite, et s'écrire sous la forme

$$\frac{C_0 + C_1w}{A_0 + A_1w} + \frac{D}{a_0 + a_1w}.$$

Cette décomposition peut également servir au tracé de ce diagramme.

Lorsqu'il y a intérêt à connaître la courbe inverse de Z (34), on pourra d'abord tracer cette courbe fermée du quatrième degré, puis en déduire celle de Z par inversion.

CONCLUSIONS. — Le diagramme fermé du quatrième degré peut toujours se tracer par inversion d'un diagramme du second degré par rapport à son point double (p. 568). Ce point coïncide parfois avec l'origine des vecteurs (p. 567 et t. VII, p. 352), sinon il est nécessaire de le déterminer (p. 569). Le diagramme inverse du second degré sera généralement une parabole ou une hyperbole. La première se trace directement (t. VII, p. 351), mais pour la seconde (p. 567), il est utile de déterminer préalablement la position de son centre et les directions de ses asymptotes (p. 566).

B. DE LA VARIABLE

I. *Généralités.* — Soit F (fig. 7) un diagramme quelconque, de courant ou d'impédance, rapporté à un point P du plan pris comme origine des vecteurs,

$$F = \frac{C_0 + C_1w + \dots + C_pw^p}{D_0 + D_1w + \dots + D_qw^q} \equiv \frac{C(p)}{D(q)}. \quad (35)$$

En rendant le dénominateur réel, cette expression peut s'écrire sous la forme

$$\frac{a_0 + a_1w + \dots + a_s w^s}{b_0 + b_1w + \dots + b_t w^t} (W_0 + W_1w + \dots + W_u w^u) = \frac{a(s)}{b(t)} W(u) \quad (36)$$

$a(s)$ et $b(t)$ étant des fonctions algébriques entières en w des degrés s et t ; et $W(u)$ étant une fonction imagi-

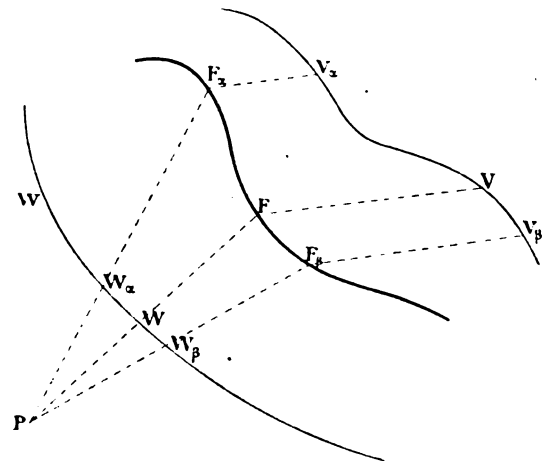


Fig. 7. — Echelles par droites rayonnantes et parallèles.

naire de degré u supposée sans racine, c'est-à-dire non divisible par une fonction algébrique.

PAR DROITES RAYONNANTES. — La forme (36) de F montre que le degré du diagramme considéré est donné par la plus grande des deux expressions $s + u$ ou t . Elle

montre, d'autre part, que F peut être considéré comme le produit de la parabole suivante de degré u

$$W_0 + W_1 w + \dots + W_u w^u \equiv W(u),$$

par une expression algébrique fractionnaire.

C'est-à-dire que, si nous traçons cette parabole W (fig. 7), les points de F et de W correspondant à une même valeur de w se trouvent sur un même vecteur partant de l'origine P . Nous dirons que F et W sont des courbes correspondantes par rapport au point de rayonnement P .

Il résulte de cette propriété entre ces deux courbes qu'il suffit de connaître la valeur de w correspondant à chaque point de W pour pouvoir déterminer celle d'un point F_a quelconque de F . On joint F_a à P et on note la valeur a de w correspondant au point de rencontre W_a avec la courbe W .

On dira, dans ces conditions, que la courbe échelle W est une parabole des w du diagramme F rapporté au point P .

D'une façon plus générale, toute courbe représentée par le symbole $\frac{F}{f}$ (dans lequel f désigne une fonction algébrique quelconque en w) peut être considérée comme une courbe des w par rapport au point P .

La parabole W ci-dessus, se rapporte au cas où

$$f(w) = \frac{a(s)}{b(t)}.$$

Elle est caractérisée par le fait que l'échelle de ses points est régulière; en particulier, le point correspondant à $w = \infty$ se trouve à l'infini.

En pratique, il peut être parfois plus commode de considérer d'autres courbes des w ; en particulier, la courbe inverse de F par rapport au point P ; cette courbe correspond au cas où

$$f(w) = \ll F^2 \gg$$

« F » représentant le module de F .

En général, il convient que ces courbes des w soient aussi simples et d'un degré aussi faible que possible.

Pour satisfaire à cette dernière condition, il suffit de choisir, comme point de rayonnement P , un des points du diagramme et, parmi ceux-ci de préférence, lorsqu'il y en a, un des points multiples, car :

Lorsque le point de rayonnement P est un point m fois multiple du diagramme, les courbes des w correspondantes pourront être d'un degré inférieur de m unités à celui du diagramme.

En effet, reprenons l'expression (36) de F

$$F = \frac{a(s)}{b(t)} W(u).$$

Supposons que $a(s)$ ait toutes ses racines réelles. Dans ce cas P est s ou $t - u$ fois multiple, suivant que t est plus petit ou plus grand que $s + u$; pour $t \leq s + u$,

F s'annule pour s valeurs finies de w , racines de $a(s)$; pour $t > s + u$; F s'annule pour les s racines de $a(s)$, mais aussi pour $t - (s + u)$ valeurs infinies de w , soit au total pour $t - u$ valeurs de w .

Or, le degré de la parabole $W(u)$ est u , tandis que celui de F est donné par la plus grande des deux expressions $s + u$ ou t ; la différence est donc s ou $t - u$, c'est-à-dire qu'elle est égale au degré de multiplicité du point P .

Dans le cas où $a(s)$ aurait des racines imaginaires, le degré de W serait inférieur à celui donné par la proposition ci-dessus; en particulier, il pourrait être inférieur à celui de F pour un point P situé en dehors de la courbe.

PAR DROITES PARALLÈLES. — Lorsque le point de rayonnement choisi est à l'infini, les droites rayonnantes deviennent des parallèles FV à une direction déterminée (fig. 7).

Étant donnée la propriété ci-dessus, ce cas ne sera pratiquement intéressant que pour les diagrammes ayant un ou plusieurs points à l'infini, l'un d'eux pouvant alors être choisi comme point de rayonnement.

Ce point étant à l'infini, on ne pourra pas le prendre, pour origine des vecteurs, et exprimer la courbe des w correspondante comme nous l'avons fait ci-dessus.

Nous rapporterons donc le diagramme F à une origine finie déterminée quelconque. La courbe V considérée pourra s'écrire alors sous la forme

$$V = F - f K = \frac{a(s)}{b(t)} W(u) - f K,$$

dans laquelle f représente une fonction algébrique quelconque et K une imaginaire constante exprimant la direction du point considéré à l'infini.

Désignons par γ la valeur de w correspondant à ce point à l'infini du diagramme. Deux cas sont à considérer :

1° γ est fini. — Dans l'expression de F , le dénominateur $b(t)$ est divisible par $w - \gamma$.

On pourra prendre comme courbe des w , celle donnée par l'expression

$$\begin{aligned} V &= \frac{a(s)}{b(t)} W(u) - \frac{a(s)}{b(t)} W_\gamma(u), \\ &= \frac{a(s)}{b(t)} [W(u) - W_\gamma(u)], \end{aligned}$$

dans laquelle $W_\gamma(u)$ représente la valeur de $W(u)$ correspondant à $w = \gamma$.

Dans cette expression de V , la partie entre crochets est divisible par $w - \gamma$; d'autre part, son dénominateur l'est par hypothèse; il en résulte que le degré de V est inférieur d'une unité à celui de F .

Une expression générale des courbes des w ayant la même propriété sera

$$Y = V + W(u) \frac{\gamma(u + s - 1)}{b(t) \frac{w - \gamma}{w - u}}.$$

dans laquelle $\varphi(u + s - 1)$ représente une fonction algébrique en w d'un degré égal ou inférieur à $u + s - 1$.

En pratique, le cas généralement le plus intéressant sera celui pour lequel V se ramène à une parabole simple de la forme

$$V = V_0 + V_1 w + \dots + V_{u-1} w^{u-1}. \quad (37)$$

Pour cela le diagramme F doit pouvoir s'écrire

$$F = \frac{W(u)}{w - \gamma} = \frac{W_0 + W_1 w + \dots + W_u w^u}{w - \gamma}, \quad (38)$$

c'est-à-dire qu'il se ramène à une courbe ayant deux points à l'infini (deux branches ouvertes) ⁽¹⁾; l'un correspondant à $w = \gamma$; l'autre, à $w = \infty$ ⁽²⁾. Remarquons que les droites parallèles correspondent au point pour lequel $w = \infty$ et non $w = \gamma$. Les échelles V et Y auront les formes

$$V = \frac{W(u) - W_\gamma(u)}{w - \gamma},$$

et

$$Y = \frac{W(u) - W_\gamma(u)}{w - \gamma} + W_\gamma(u) \varphi(u - 1).$$

2° γ est infini. — Dans l'expression de F le degré u du dénominateur est inférieur à celui $s + u$ du numérateur, ce dernier déterminant le degré du diagramme F .

On pourra prendre comme courbe des w celle donnée par l'expression

$$V = \frac{a(s)}{b(t)} [W(u) - W_u w^u],$$

et d'une façon plus générale

$$Y = V + W_u \frac{\varphi(u + s - 1)}{b(t)} \quad (39)$$

expressions dont le degré en w est inférieur d'une unité à celui de F ⁽³⁾.

Pour que ces courbes se ramènent à des paraboles simples en w de la forme (37), il convient que F soit de la forme

$$F = W_0 + W_1 w + \dots + W_u w^u = W(u), \quad (39)$$

c'est-à-dire que le diagramme F considéré soit lui-même une telle parabole.

On a alors

$$V = W_0 + W_1 w + \dots + W_{u-1} w^{u-1},$$

⁽¹⁾ Excepté pour $u = 1$ cas où F se ramène à une droite dont le point à l'infini correspond à $w = \gamma$.

⁽²⁾ C'est en particulier le cas de l'hyperbole du second degré représentée figure 5.

⁽³⁾ Ces expressions correspondent à celles trouvées pour γ fini; elles auraient pu d'ailleurs s'en déduire.

⁽⁴⁾ Le degré de V pourrait être inférieur à celui de F de plus d'une unité dans certains cas exceptionnels.

et

$$Y = W_0 + W_1 w + \dots + W_{u-1} w^{u-1} + W_u \varphi(u - 1).$$

PRATIQUE. — La courbe échelle la plus commode est évidemment celle qui se ramène à une droite de la forme

$$W_0 + W_1 w, \quad (40)$$

c'est-à-dire pour laquelle l'échelle de l'inconnue w considérée varie régulièrement suivant une progression arithmétique.

Aussi, en pratique, on cherchera dans tous les cas à déterminer une telle échelle rectiligne. Lorsque le degré du diagramme est élevé, on opérera comme suit. On détermine une première courbe-échelle du diagramme considéré, comme nous l'avons indiqué ci-dessus; puis une courbe-échelle de la première, puis une courbe-échelle de cette seconde, et ainsi de suite, en diminuant autant que possible le degré de ces courbes-échelles successives. On obtient ainsi finalement une droite-échelle qui (en repassant par toutes les courbes-échelles intermédiaires) permettra de déterminer la valeur de la variable correspondant à un point quelconque du diagramme considéré ⁽¹⁾.

CHANGEMENT DE LA VARIABLE. — Il est parfois utile, en pratique, de changer de variable. Un tel changement est naturellement sans action sur les diagrammes et leurs diverses courbes-échelles, qui restent correspondantes par rapport aux mêmes points de rayonnement.

Mais la forme des formules de ces courbes sera modifiée, ou non, suivant l'expression de la nouvelle variable considérée. Ce fait est d'ailleurs sans importance pour les courbes-échelles intermédiaires, mais il ne l'est pas pour la dernière droite-échelle si l'on désire que sa formule soit de la forme (40).

Soient w et v l'ancienne et la nouvelle variable. Pour que la droite des w , supposée de la forme (40), soit également une droite des v , de la même forme, il faut et il suffit que les variables v et w soient liées entre elles par une formule de la forme

$$v = \alpha_0 + \alpha_1 w \quad (2)$$

dans laquelle α_0 et α_1 sont des constantes réelles.

En effet, soit $W_0 + W_1 w$ la droite des w (40) considérée. Remplaçons-y w par sa valeur en fonction de v , elle devient

$$W_0 + W_1 \frac{v - \alpha_0}{\alpha_1} = \left(W_0 - \frac{\alpha_0}{\alpha_1} W_1 \right) + \frac{W_1}{\alpha_1} v.$$

expression en v de la forme (40).

Pour que, tout en étant différente de la droite des w ,

⁽¹⁾ On trouvera des applications aux diagrammes circulaires et aux diagrammes fermés du quatrième degré.

⁽²⁾ Par exemple, pour le moteur asynchrone, vitesse et glissement.

la droite des v puisse être de la forme (40), il faut et il suffit que les variables v et w soient liées entre elles par une expression de la forme

$$v = \frac{\alpha_0 + \alpha_1 w}{\beta_0 + \beta_1 w}.$$

En effet, soit $W_0 + W_1 w$ la droite des w ; la courbe F correspondante pourra s'écrire

$$F = (W_0 + W_1 w) f.$$

Remplaçons-y w par sa valeur en fonction de v , il vient

$$F = \left(W_0 - W_1 \frac{\alpha_0 - \beta_0 v}{\alpha_1 - \beta_1 v} \right) g,$$

g représentant la valeur de f en fonction de v .

Cette formule peut s'écrire

$$F = [(\alpha_1 W_0 - \alpha_0 W_1) - (\beta_1 W_0 - \beta_0 W_1) v] \frac{g}{\alpha_1 - \beta_1 v}.$$

L'expression entre crochets représente bien une droite des v de la forme (40), mais différente de celle des w ; du moins pour $\beta_1 \neq 0$.

Nous donnons ci-après le tracé pratique de ces différentes échelles rectilignes.

II. Echelles rectilignes. — Nous ne considérerons ici que les échelles rectilignes dont l'expression est de

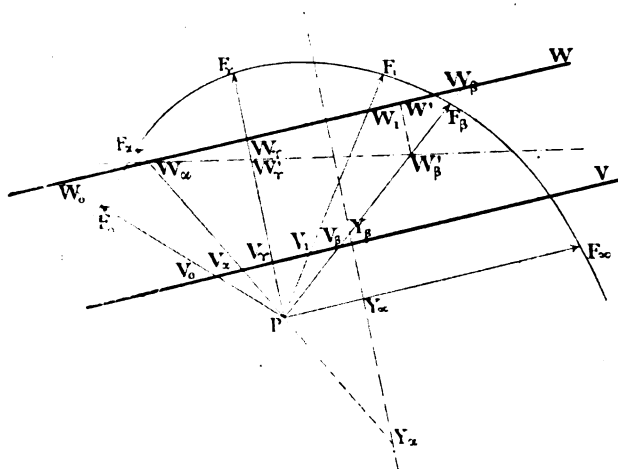


Fig. 8. — Echelles rectilignes par droites rayonnantes.

la forme (40). Elles sont caractérisées, en particulier, par le fait que le point correspondant à $w = \infty$ se trouve à l'infini.

1° PAR DROITES RAYONNANTES (fig 8). — GÉNÉRALITÉS. — Comme nous l'avons vu, l'expression de W pourra être multipliée ou divisée par une fonction algébrique f

(1) Par exemple, pour le moteur asynchrone, vitesse et inverse du glissement.

quelconque. Or pour f constant, W/f est une droite parallèle à W , il en résulte que :

Toute droite des w : W (fig. 8) peut être remplacée par toute autre V qui lui est parallèle.

La droite rayonnante PF_∞ (fig 8) correspondant à $w = \infty$ doit rencontrer W à l'infini, il en résulte que la droite-échelle cherchée est une parallèle quelconque à la droite rayonnante PF_∞ . Elle se trace donc facilement lorsque l'on connaît le point F_∞ .

Quant à la dimension de la variable w sur cette échelle, elle se détermine facilement, si l'on connaît les valeurs α et β correspondant à deux points quelconques F_α et F_β du diagramme (par exemple F_0 et F_1). Il suffit de tracer (fig. 8) les droites rayonnantes PF_α et PF_β qui déterminent en W_α et W_β les points correspondants de la droite des w . La distance $W_\alpha W_\beta$ mesure la différence $\beta - \alpha$, ce qui détermine la dimension de l'échelle et permet, en particulier, de trouver son origine W_0 correspondant à $w = 0$ et le point W_1 correspondant à $w = 1$. Dans ces conditions, la valeur de w correspondant à un point F_γ quelconque du diagramme se mesure par $W_0 W_\gamma$, le point W_γ étant déterminé par la droite rayonnante PF_γ .

Il vient

$$\gamma = \frac{W_0 W_\gamma}{W_0 W_1}.$$

Les considérations ci-dessus sont absolument indépendantes de la forme de la variable considérée, de sorte qu'elles s'appliquent aussi bien à la variable w qu'aux variables de la forme $\alpha_0 + \alpha_1 w$ et $\frac{\alpha_0 + \alpha_1 w}{\beta_0 + \beta_1 w}$.

La droite-échelle cherchée sera toujours une parallèle quelconque à la droite rayonnante PF_∞ , F_∞ désignant en ce cas le point du diagramme correspondant à $\alpha_0 + \alpha_1 w = \infty$

ou à $\frac{\alpha_0 + \alpha_1 w}{\beta_0 + \beta_1 w}$. Quant à la dimension de la variable,

elle sera déterminée facilement, si l'on connaît les valeurs correspondant à deux autres points quelconques du diagramme. En résumé, il convient donc de connaître les valeurs de la variable correspondant à trois points du diagramme.

Les raisonnements ci-dessus supposent, comme c'est presque toujours le cas, que l'on connaît le point F_∞ du diagramme correspondant à une valeur infinie de la variable considérée.

Lorsque ce point n'est pas connu, il suffit d'en connaître un autre quelconque F_γ (fig. 8) correspondant à $w = \gamma$ et d'opérer comme suit.

On trace la droite PF_γ et une parallèle quelconque à celle-ci : $Y_\alpha Y_\beta$. C'est une droite des y , dont la variable y est de la forme

$$y = \frac{1}{w - \gamma};$$

en effet, cette expression devient infinie pour $w = \gamma$, c'est-à-dire en F_γ . Les droites rayonnantes PF_γ et PF_∞

déterminant en Y_α et Y_β des points correspondant à $w = \alpha$ et β , c'est-à-dire à

$$y_\alpha = \frac{1}{\alpha - \gamma} \text{ et } y_\beta = \frac{1}{\beta - \gamma},$$

la distance $Y_\alpha Y_\beta$ mesure donc la différence

$$\frac{1}{\beta - \gamma} - \frac{1}{\alpha - \gamma} = \frac{\alpha - \beta}{(\beta - \gamma)(\alpha - \gamma)}.$$

Cette formule générale permet d'écrire

$$Y_\alpha Y_\beta = \frac{-1}{\alpha - \gamma} = Y_\alpha Y_\beta \frac{\beta - \gamma}{\beta - \alpha}. \quad (41)$$

Il en résulte que le point Y_α (fig. 8), pourra être déterminé par la formule (41) et qu'il suffira alors de tracer la droite rayonnante PY_α .

La droite des w cherchée est une parallèle quelconque à cette rayonnante PY_α (1),

APPLICATIONS. — Examinons l'application des considérations précédentes successivement aux cas des diagrammes : rectiligne, du second degré et d'un degré supérieur.

1° Pour un *diagramme rectiligne* le point de rayonnement P devra être choisi, en dehors de ce diagramme, en un point quelconque du plan.

Lorsque le point F_∞ de ce diagramme est à une distance finie, l'échelle rectiligne ne présente pas de particularité spéciale, c'est une parallèle quelconque à la droite rayonnante PF_∞ (2), comme nous l'avons vu (fig. 8).

Généralement le point F_∞ des diagrammes rectilignes est à l'infini. Dans ce cas, la droite-échelle est une pa-

(1) On peut également opérer comme suit :

Tracer une droite quelconque $W_\alpha W_\beta$ (fig. 8), comptant les rayonnantes connues PF_α , PF_γ et PF_β aux points W_α , W_γ , W_β . Calculer la longueur PW_β par la formule

$$PW_\beta = PW_\gamma \frac{\beta - \gamma}{\gamma - \alpha} \times \frac{W_\alpha W_\gamma}{W_\gamma W_\beta}.$$

La droite $W_\alpha W_\beta$ est la droite des w cherchée. En effet, traçons $W_\beta W'$ parallèle à PW_γ , il vient

$$\frac{PW_\beta}{PW_\gamma} = \frac{W_\beta W_\gamma}{W_\gamma W'} = \frac{W_\gamma W_\beta}{W_\gamma W_\beta} \times \frac{W_\alpha W_\gamma}{W_\alpha W_\gamma} = \frac{\beta - \gamma}{\gamma - \alpha} \times \frac{W_\alpha W_\gamma}{W_\gamma W_\beta}.$$

Ces constructions sont en somme des résolutions du problème géométrique suivant : d'un point P partent trois droites rayonnantes PF_α , PF_γ , PF_β . On demande de tracer une droite $W_\alpha W_\beta W_\gamma$ telle que le rapport des longueurs $W_\alpha W_\gamma$ et $W_\gamma W_\beta$ (déterminées par les rayonnantes) ait une valeur donnée.

(2) Nous désignons par F_∞ (voir ci-dessus) le point du diagramme pour lequel la variable considérée, qui peut être de l'une des formes $\alpha_0 + \alpha_1 w$ ou

$$\frac{\alpha_0 + \alpha_1 w}{\beta_0 + \beta_1 w},$$

est infinie.

rallèle quelconque à ce diagramme. Ce dernier peut être d'ailleurs lui-même sa propre droite-échelle et il sera généralement choisi comme tel par son tracé même, c'est, par exemple, le cas du diagramme $ZZ_0 Z_1$ de la figure 2. De son tracé (t. VII, p. 348), il résulte que la valeur de w correspondant à un point Z quelconque sera donnée en grandeur et signe par le rapport

$$w = \frac{Z_0 Z}{Z_0 Z_1},$$

la longueur $Z_0 Z_1$ correspondant à $w = 1$.

D'ailleurs, toute parallèle $W W_0 W_1$ à $Z Z_0 Z_1$ pourra être choisie comme droite des w et, cela, pour un point de rayonnement quelconque du plan. Celui choisi en figure 2 est l'origine O des vecteurs.

2° Pour un *diagramme du second degré*, le point de rayonnement P devra être un point quelconque de ce diagramme. Souvent on choisira un de ses points caractéristiques, tel que F_0 ou F_∞ , mais il n'y a à cela aucune obligation. Dans le cas particulier où l'on choisit le point F_∞ , la droite-échelle sera une parallèle à la tangente en F_∞ au diagramme.

Pour chacun des diagrammes dont nous avons donné le tracé (fig. 2, 3, 4, 5), nous avons représenté une droite des w , $W W_0$ et une droite des $\frac{1}{w}$, $G G_0$.

Pour celles de la figure 2, on a choisi comme point de rayonnement les points F_∞ , c'est-à-dire $O I_\infty$, pour la droite des w et I_0 pour celle des $\frac{1}{w}$. Ces droites-

échelles $W W_0$ et $G G_0$ sont donc des parallèles quelconques aux tangentes aux points de rayonnement correspondants. La dimension de la variable s'y détermine facilement, car on connaît les points correspondant à ses valeurs zéro et un. En particulier, le point G_0 est déterminé par la droite rayonnante $I_0 I_\infty$. Dans ces conditions, pour un point I quelconque, il vient

$$w = \frac{W_0 W}{W_0 W_1} \text{ et } \frac{1}{w} = \frac{G_0 G}{G_0 G_1}.$$

Ces droites-échelles (fig. 2) présentent la particularité de pouvoir être considérées comme les inverses de leurs diagrammes circulaires, par rapport au point de rayonnement F_∞ choisi. Pour la droite $W W_0$, ce fait résulte directement de la construction même du diagramme, $W W_0$ étant une parallèle quelconque au diagramme Z d'impédance. D'ailleurs, d'après ce que nous avons vu, on pourrait choisir comme droite-échelle l'inverse du diagramme circulaire par rapport à l'un quelconque de ses points, pris comme point de rayonnement. Seulement, quand ce point est différent de F_∞ , la droite-échelle W correspondante n'aura pas son point $w = \infty$ à l'infini et ne sera pas de la forme (46), de sorte qu'il faudrait alors tracer une seconde droite-échelle déterminant les valeurs de la variable des points de la première ; nous en avons indiqué le tracé ci-dessus.

Pour le *diagramme circulaire* d'impédance (fig. 3), on

a choisi également comme point de rayonnement les points F_∞ , c'est-à-dire : Z_∞ , pour la droite des w et Z_0 , pour la droite des $\frac{1}{w}$. Mais on aurait pu choisir un point quelconque du diagramme.

Pour le *diagramme hyperbolique* (fig. 5), le point de rayonnement P choisi est un point quelconque du diagramme, le même pour les deux droites-échelles des w et des $\frac{1}{w}$. Celle WW_0 des w est parallèle à PZ_∞ ; celle

GG_0 des $\frac{1}{w}$ est parallèle à PZ_0 . Dans le cas particulier de la figure 5, les droites des w par droites rayonnantes sont toutes parallèles à l'asymptote CN_∞ . La dimension de la variable se détermine facilement sur ces droites puisqu'on connaît les points Z_0 , Z_∞ et Z_1 ; et que leurs droites rayonnantes déterminent les points W_0 , W_1 et G_0 , G_1 des droites-échelles. Les valeurs w et $\frac{1}{w}$ d'un point Z quelconque du diagramme se mesureront respectivement en W et G par W_0W et G_0G .

Pour le *diagramme parabolique* (fig. 4), on pourrait également choisir un quelconque de ses points, comme point de rayonnement.

3° Pour qu'un *diagramme d'un degré n supérieur au second* puisse avoir une échelle rectiligne directe, il convient que ce diagramme ait un point $n - 1$ fois multiple, point que l'on choisira alors comme point de rayonnement. Ce cas se présente en particulier pour les diagrammes du troisième degré avec point double dont nous avons donné la formule (33) page 571 et pour les courbes du quatrième degré avec point triple dont il est question au chapitre suivant.

PAR DROITES PARALLÈLES. — Nous avons vu que, pour avoir une échelle-rectiligne par droites parallèles de la forme (37), il faut que le diagramme soit de la forme (38) ou (39), c'est-à-dire qu'il ait un ou deux points à l'infini et que l'un deux corresponde à $w = \infty$. Lorsqu'il n'en a qu'un seul, ce point donne la direction des droites parallèles, mais, lorsque le diagramme a deux points à l'infini, la direction des droites parallèles est donnée par celui de ces deux points qui correspond à la valeur finie de w .

D'après ce que nous avons vu, si la droite

$$V = V_0 + V_1 w,$$

représente une droite-échelle par droites parallèles, la formule générale d'une telle droite sera de la forme

$$Y = V + Kf(w) = V_0 + V_1 w K(a_0 + a_1 w),$$

dans laquelle K représente la direction du point à l'infini, du diagramme considéré.

Les valeurs a et a_1 étant arbitraires, on voit facilement que cette formule représente une droite quelconque du plan.

La droite-échelle est donc absolument quelconque.

En général, on choisira une droite caractéristique de la figure.

Pour y déterminer la dimension de la variable, il suffira de connaître les valeurs de cette variable correspondant à deux points quelconques F_2 et F_3 du diagramme, tout comme nous l'avons vu pour l'échelle rectiligne par droites rayonnantes.

Le degré des courbes-échelles obtenues par droites-parallèles n'est généralement inférieur que d'une unité à celui du diagramme. Pour avoir une échelle rectiligne, le diagramme devra donc être du second degré, soit donc une parabole ou une hyperbole, dont le point correspondant à une valeur infinie de la variable considérée est lui-même à l'infini. Les figures 4 et 5 répondent à ces conditions.

La construction même de la parabole (fig. 4) (t. VII, p. 351) conduit à prendre comme droite-échelle le vecteur $Z_0Z'_1$. Les points Z_0 et Z'_1 correspondent respectivement à $w = 0$ et $w = 1$; et, pour un point Z' quelconque, la valeur de w se mesurera par Z_0Z' , le point Z' étant déterminé par la parallèle ZZ' à $Z'_1Z'_0 = Z'_1Z'$, c'est-à-dire à l'axe de la parabole. Mais on pourrait mesurer w sur une droite quelconque du plan.

Pour l'hyperbole (fig. 5), on a choisi comme droite des w l'asymptote CN_∞ , sur laquelle les valeurs de w sont déterminées en V_0 , V_1 , V par des parallèles à l'autre asymptote CN_0 , qui donne la direction du point à l'infini du diagramme correspondant à une valeur finie de la variable. On voit facilement sur la figure 5 que cette échelle V_0V n'est qu'un cas particulier de l'échelle W_0W déterminée plus haut, lorsque le point de rayonnement P s'éloigne à l'infini suivant CN_∞ .

III. **Echelles courbes.** — La détermination d'une échelle courbe pourra toujours se faire en partant de la formule du diagramme considéré, comme nous l'avons indiqué d'une façon générale.

En pratique, il sera généralement plus facile de rattacher cette détermination au tracé du diagramme. En effet, pour faire ce tracé, on utilise le plus souvent des courbes correspondantes d'un degré inférieur; ces courbes pourront servir à la détermination de la variable. Nous en donnons quelques exemples ci-après.

PAR DROITES RAYONNANTES. — 1° Pour le *diagramme circulaire* de courant de la figure 3 (t. VII, p. 350), considérons, comme courbe-échelle, son inverse par rapport à l'origine, qui, dans le cas de la figure 3 est représenté par la même circonférence.

Dans ces conditions aux points I_0 , I_∞ , I_1 et I du diagramme correspondent, par rapport à O, les points Z_0 , Z_∞ , Z_1 , et Z de la courbe-échelle.

Les valeurs correspondantes de la variable, en particulier de w et $\frac{1}{w}$, pourront se déterminer sur les droites-échelles WW_0 et GG_0 dont nous avons vu le tracé plus haut.

Il serait naturellement plus simple de tracer directement des échelles rectilignes du diagramme de cou-

rant, comme nous l'avons fait pour celui d'impédance; seulement, lorsqu'on considère simultanément ces deux diagrammes, comme c'est le cas de la figure 5, il peut être plus commode d'employer les mêmes échelles rectilignes pour chacun d'eux.

2° Pour les *diagrammes fermés du quatrième degré*, on prendra, comme courbe-échelle du second degré, leur inverse par rapport à leur point singulier ou double.

Aux points I_0, I_x, I_1, I , du diagramme (fig. 4 et 5) correspondent, par rapport au point de rayonnement O , ceux Z_0, Z_x, Z_1, Z , de la courbe inverse. Les valeurs correspondantes de la variable considérée se mesurent sur les droites-échelles dont nous avons vu le tracé plus haut.

3° Pour les *diagrammes du troisième degré* de la forme (33), on opérerait absolument de même. Ce moyen sera généralement le plus commode lorsque la courbe inverse du second degré a servi au tracé du diagramme; mais, comme nous l'avons vu plus haut, pour une telle courbe du troisième degré, on peut tracer également une échelle rectiligne directe sans avoir à passer par l'intermédiaire d'une courbe du second degré.

PAR DROITES PARALLÈLES. — 1° Les diagrammes donnés par une formule de la forme

$$F = A_0 + A_1 w + A_2 w^2 + \dots + A_{n-1} w^{n-1} + A_n w^n,$$

peuvent se tracer point par point, comme nous l'avons vu pour la parabole simple (t. VII, p. 351). Ce tracé implique celui du vecteur $A_1 w$ qui peut servir à la mesure de la variable w .

En d'autres termes, la détermination point par point du diagramme F , détermine en même temps les $n-1$ courbes suivantes

$$W_1 = A_0 + A_1 w,$$

$$W_2 = A_0 + A_1 w + A_2 w^2,$$

$$W_{n-2} = A_0 + A_1 w + A_{n-2} w^{n-2},$$

$$W_{n-1} = A_0 + A_1 w + \dots + A_{n-2} w^{n-2} + A_{n-1} w^{n-1},$$

que l'on pourra tracer et considérer comme des courbes-échelles intermédiaires. Pour déterminer la valeur de w correspondant à un point F quelconque du diagramme F , on tracera par ce point une parallèle à A_n qui coupe l'échelle W_{n-1} au point W_{n-1} ; de ce point on mène une parallèle à A_{n-1} qui coupe la courbe W_{n-2} au point W_{n-2} et ainsi de suite, jusqu'à obtenir la rencontre d'une parallèle à A_2 avec l'échelle rectiligne W_1 au point W_1 . Ce point mesure la valeur cherchée de w .

On peut d'ailleurs remplacer l'échelle rectiligne W_1 par toute autre droite-échelle, par droites parallèles ou

rayonnantes de la parabole W_2 du second degré. Les dernières sont surtout à considérer lorsque l'on veut mesurer une fonction de w de la forme $\frac{\alpha_0 + \alpha_1 w}{\beta_0 + \beta_1 w}$,

par exemple, $\frac{1}{w}$.

2° Pour tracer les diagrammes donnés par une expression de la forme

$$F = \frac{A_0 + A_1 w + \dots + A_m w^m}{a_0 + a_1 w + \dots + a_n w^n},$$

on pourra commencer par tracer la parabole représentative du numérateur, puis on divisera les vecteurs correspondants par l'expression algébrique du dénominateur. Les courbes-échelles successives de ce numérateur s'obtiendront comme dans le cas précédent; d'ailleurs le numérateur est une courbe correspondante du diagramme par rapport à l'origine des vecteurs, prise pour point de rayonnement. La mesure de la variable se ramène donc à celle du cas précédent.

CONCLUSIONS. — Quel que soit le degré du diagramme considéré, ses courbes-échelles successives peuvent se ramener, en dernière analyse, à une droite-échelle sur laquelle on pourra mesurer les valeurs de la variable suivant une progression arithmétique régulière.

Cette variable peut être différente de celle (ou de celles) w , figurant dans les équations, pourvu que son expression en fonction de w reste de la forme

$$x_0 + x_1 w \quad \text{ou} \quad \frac{x_0 + x_1 w}{\beta_0 + \beta_1 w}.$$

La détermination des courbes-échelles intermédiaires se rattache, généralement, simplement au tracé graphique du diagramme considéré.

D'ailleurs, pour déterminer une droite-échelle quelconque, il suffit de connaître les valeurs de la variable considérée pour trois points de la dernière courbe-échelle (1), c'est-à-dire pour trois points du diagramme.

Il résulte de ce fait que, pour déterminer complètement un diagramme, il faut connaître non seulement un certain nombre de ses éléments (points ou tangentes), dépendant de ses propriétés géométriques, mais aussi les valeurs de la variable pour trois de ses points. Ces trois points sont d'ailleurs suffisants quel que soit le degré du diagramme puisqu'ils suffisent à caractériser complètement la droite-échelle finale (2).

(A suivre.)

LÉON OTS-CHEVALIER.

(1) Cette dernière courbe sera généralement du second degré.

(2) Pour détails à ce sujet voir Appendice.

Revues, analyses et informations

Sur la synchronisation harmonique des oscillations électriques ⁽¹⁾.

Nous reproduisons ci-après une note de M. MERCIER, présentée à une des séances de l'Académie des Sciences.

1. SYNCHRONISATION SIMPLE. — Le phénomène de la synchronisation est une propriété très générale qui appartient à tout ensemble composé de deux systèmes oscillants de même nature, mais quelconques, ayant des fréquences voisines et entre lesquels il existe une liaison.

Il est caractérisé par les propriétés suivantes : quand on essaie d'amener les deux oscillateurs à l'accord parfait en faisant varier progressivement la fréquence propre de l'un d'entre eux, il se produit, à un moment donné, une disparition brusque des battements. Les oscillateurs sont synchronisés. Ils se sont accrochés. Il y a toute une *plage de synchronisation* dans laquelle ils sont rigoureusement à la même fréquence, cette fréquence commune variant d'ailleurs quand on modifie légèrement l'un d'eux. Puis les battements réapparaissent brusquement, si la variation se poursuit dans le même sens. Mais si les oscillateurs s'accrochent pour une valeur déterminée de la fréquence propre de l'un des appareils, quand par exemple nous faisons croître celle-ci, ils ne se décrocheront plus, quand nous agissons en sens inverse, que pour une fréquence inférieure à celle trouvée précédemment. Les oscillateurs montrent ainsi une tendance très accusée à rester au synchronisme.

Nous avons pu mettre ces propriétés en évidence d'une façon particulièrement nette en utilisant des oscillateurs à lampes amplificatrices à trois électrodes (audions) dont la stabilité est très grande lorsque le régime est établi. L'observation est commode et la facilité de réglage permet de suivre la marche des phénomènes pour des liaisons même très faibles, lorsque la synchronisation ne se produit que pour une égalité presque absolue des fréquences à quelques battements par seconde pour des fréquences de l'ordre de 100 000 p : s par exemple ($\lambda = 3$ km).

Il est notamment facile de faire varier la grandeur de la plage de synchronisation en agissant sur la réaction mutuelle des deux oscillateurs. Naturellement la fréquence du son de battements à la limite d'accrochage ou de décrochage varie dans le même sens que l'intensité de la réaction.

2. SYNCHRONISATION HARMONIQUE. — Cette tendance à la synchronisation existe aussi dans le cas moins simple où l'un des deux oscillateurs émet sur l'un des harmoniques de l'autre. Le phénomène présente exactement les mêmes caractéristiques que précédemment. Mais, comme il était à prévoir, cela nécessite pour l'oscillateur à grande longueur d'onde d'avoir des harmoniques suffisamment intenses ; de plus, la réaction mutuelle doit être plus forte.

Les deux oscillateurs peuvent également s'accrocher sur un harmonique commun, qui sera d'ordre d'autant plus élevé que les oscillateurs auront des harmoniques plus intenses. Mais il devient souvent nécessaire d'avoir une très

forte réaction mutuelle ; tous les dispositifs du couplage par induction ou par lampe que nous avons utilisés donnent des résultats analogues. Le phénomène est général.

Il a lieu également quelles que soient les fréquences employées ; pour des fréquences de quelques unités ou dizaines par seconde et pour des fréquences de l'ordre de 100 000 000 p : s ($\lambda = 3$ m). Dans le cas des oscillations de basse fréquence, le phénomène est aisé à analyser : il suffit d'inscrire sur du noir de fumée le courant de l'un des oscillateurs et, en agissant progressivement sur la capacité de l'autre, on voit les battements se former, diminuer de fréquence, pour disparaître brusquement et réapparaître plus loin d'une façon également brusque.

3. SYNCHRONISATION MULTIPLE. — Nous avons alors cherché à étendre cette propriété à plusieurs oscillateurs en cascade, chacun d'eux étant accroché sur un des harmoniques du précédent. Cela ne présente pas de difficultés particulières, mais demande naturellement plus de soin pour le réglage lorsque le rang des harmoniques employés et le nombre des oscillateurs croissent, car les plages de synchronisation deviennent plus étroites.

Le maximum de stabilité est atteint lorsque la plage de synchronisation de l'un des oscillateurs avec le précédent a même centre que la plage de synchronisation du même oscillateur avec celui qui le suit. On arrive très bien à se placer dans ces conditions par approximations successives en agissant sur les diverses capacités. Le contrôle se fait en recevant sur des ondemètres réglés sur les différentes longueurs d'ondes employées.

Nous sommes ainsi arrivés à avoir six oscillateurs en série synchronisés l'un sur l'autre, allant de 50 à 5 000 000 périodes par seconde environ ($\lambda = 60$ m).

Nous réalisons ainsi un multivibrateur d'un nouveau genre, ayant un nombre immense d'harmoniques de rangs très élevés et qui sont tous très intenses, parce qu'ils se trouvent renforcés et créés à nouveau pour ainsi dire par chaque oscillateur particulier que l'on ajoute. Si l'on agit sur l'un quelconque des oscillateurs du système sans dépasser les limites de la plage de synchronisation correspondante, on modifie la période fondamentale de l'ensemble qui se trouve entraîné en bloc. Le dernier harmonique de l'oscillateur de plus haute fréquence est toujours un harmonique exact de l'oscillateur le moins rapide.

C'est ainsi que nous avons pu comparer le quinzième harmonique du dernier oscillateur avec un oscillateur de 4 m de longueur d'onde. D'autre part, les oscillations de l'oscillateur de plus basse fréquence sont inscrites et comparées à celles d'une horloge dont la période est de deux secondes.

Ces deux comparaisons se font avec une précision dépassant le $\frac{1}{100\,000}$ et permettent d'obtenir avec une précision de l'ordre du $\frac{1}{100\,000}$ la période d'une onde de quelques mètres.

On passe ainsi d'une période de deux secondes à une onde de 4 m (fréquence 75 000 000 p : s), c'est-à-dire à une période 150 000 000 fois plus petite, et ceci par l'intermédiaire d'un système oscillant unique.

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 13 février 1922, t. CLXXIV, p. 448-450.

SECTION INDUSTRIELLE

L'Usine électrochimique de Lannemezan

L'usine électrochimique de Lannemezan, dont on lira la description au cours de cet article, n'utilise, pour le moment, que l'énergie achetée aux usines de production de la région et transmise à la tension de 63 000 v., en attendant sa liaison au grand réseau d'Etat à 120 000 v. Sa puissance actuelle est de 600 000 kw; l'ensemble des transformateurs destinés à alimenter les fours à carbure et à cyanamide constitue une batterie d'une puissance globale de 130 000 kv-a, répartie entre des unités de 6 700 et 3 000 kv-a. Ces quelques chiffres soulignent l'importance de cette installation dont l'auteur décrit l'équipement dans tous ses détails.

I. Introduction. — A l'origine, cette usine avait pour but la fabrication du carbure de calcium et de la cyanamide calcique. Sa création a été décidée en 1917 par le Ministère de l'Armement pour fournir les éléments nécessaires à la fabrication de l'acide nitrique synthétique.

La production journalière prévue était d'environ 200 t, ce qui nécessitait une puissance électrique de

II. Description générale. — L'ensemble des installations électriques comprend trois postes principaux de transformation 63 000/12 500 v, la tension de distribution adoptée pour l'intérieur étant de 12 500 v.

Ces postes ont été disposés aussi près que possible des principaux points de consommation qui, en l'espèce, sont des fours à carbure.

A chacun des trois bâtiments de fours à carbure, comprenant huit fours d'une puissance unitaire de 2 500 kv-a, correspond un poste de transformation de 20 000 kv-a, comme l'indique le schéma général de l'usine (fig. 1).

Le poste de transformation n° II, placé au centre de gravité de toute l'installation, est utilisé comme poste d'arrivée des lignes, et sert, outre l'alimentation des

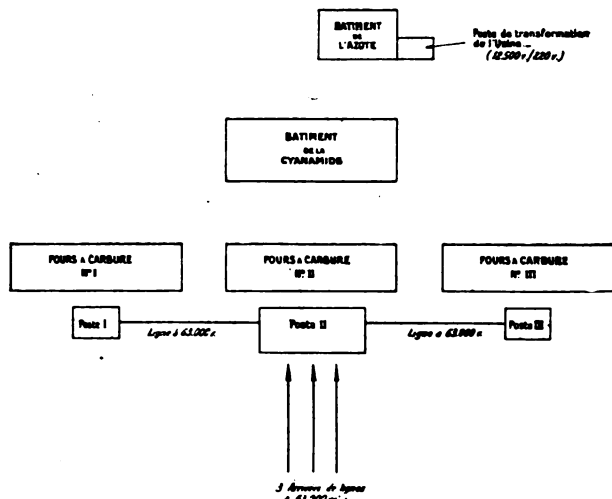


Fig. 1. — Plan général de l'usine nationale hydroélectrochimique de Lannemezan.

600 000 kw. Toutes les usines hydroélectriques de la région devaient contribuer à son alimentation : l'usine d'Eget, de la Compagnie des Chemins de fer du Midi ; l'usine de Saint-Lary, appartenant à la Société Penarroya, et les usines du Louron, ayant fait l'objet d'une description antérieure ⁽¹⁾.

(1) Usine d'Eget. *R. G. E.*, 3, 10, 17, 24 et 31 juillet 1920, p. 5, 37, 75, 113 et 145. — Usine du Louron. *R. G. E.*, 27 novembre 1920, t. VIII, p. 765. — Usine de Soulom. *R. G. E.*, 24 février 1917, t. I, p. 287.

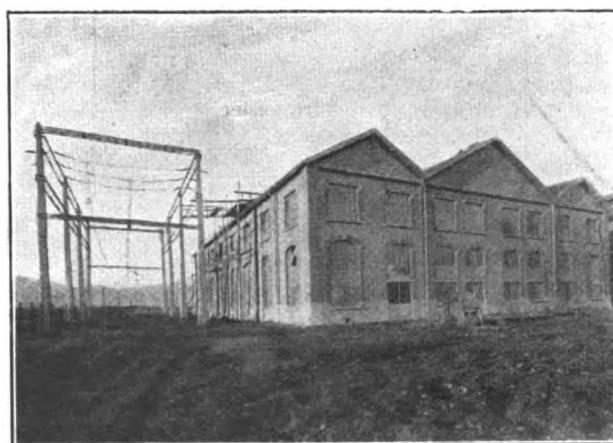


Fig. 2. — Poste central et portique d'arrivée des lignes à 63 000 v.

trois bâtiments de fours à carbure, à l'alimentation des postes secondaires pour les bâtiments de fours à cyanamide et l'usine d'azote.

Le poste n° II, poste central de répartition, est cons-

titué par un bâtiment de 48 m de longueur sur 37 m de largeur et de 11 m de hauteur (hauteur prise jusqu'au niveau des fermes); il se compose de trois travées

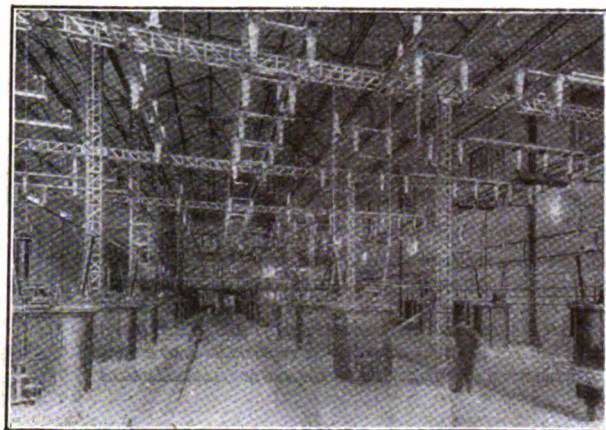


Fig. 3. — Vue de la salle des interrupteurs automatiques 63 000 v. Type G. A.

(fig. 2). Dans la travée centrale sont disposés les interrupteurs (fig. 3), et dans les travées adjacentes, les parafoudres (fig. 4) et les cellules des transformateurs.

Ces cellules, au nombre de neuf, sont utilisées de la façon suivante :

Six cellules pour les transformateurs à 63 000 v : trois transformateurs monophasés 6 700 kv-A, deux

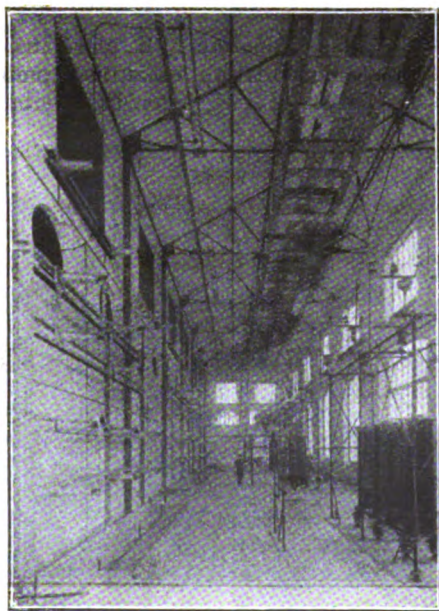


Fig. 4. — Vue de la salle des parafoudres à 63 000 v. Type A. K.

transformateurs triphasés 3 000 kv-A, et un transformateur monophasé 6 700 kv-A de réserve.

Les trois cellules centrales abritent le jeu de barres

à 12 500 v, les interrupteurs automatiques et sectionneurs à 12 500 v.

Les cellules sont absolument hermétiques. Les transformateurs sont amenés dans le poste par une voie de raccordement qui longe le bâtiment; le lorry portant le transformateur est muni de rails qui viennent se raccorder avec les rails fixés à demeure dans les cellules; les cellules sont fermées du côté extérieur par un rideau de fer (fig. 5).

Toutes les cellules sont munies de conduites en béton destinées à l'évacuation de l'huile des transformateurs en cas d'éclatement des cuves; ces conduites aboutissent à une cuve en béton placée à l'extérieur du bâtiment et destinée à recueillir l'huile dans cette éventualité.

Les postes annexes sont constitués par des bâtiments de 25 m de long sur 11 m de large et 14 m de hauteur.

Ils comprennent uniquement trois cellules pour les trois transformateurs monophasés de 6 700 kv-A, et une



Fig. 5. — Couloir pour la manutention des transformateurs de fours.

quatrième cellule destinée à loger le jeu de barres à 12 500 v, ainsi que les interrupteurs automatiques et sectionneurs, 12 500 v.

1° Schéma général de l'installation électrique. — Trois lignes de transmission ont été établies pour amener à Lannemezan l'énergie électrique des usines précitées; ces lignes ont été construites pour fonctionner à 120 000 v, bien que les postes de Lannemezan ne soient actuellement équipés qu'à 63 000 v.

Lorsque le réseau national sera réalisé, il y aura lieu d'établir un poste abaisseur 120 000/63 000 v pour alimenter les usines de Lannemezan.

Les trois lignes aboutissent à un portique juxtaposé au poste central de répartition (poste n° II, fig. 6) et pénètrent à l'intérieur de ce poste, ainsi qu'il est indiqué sur la vue en coupe de l'usine (fig. 7), par des isolateurs de traversée de toiture (fig. 8 et 9). Ces isolateurs sont du type condensateur.

Le schéma général de l'installation est représenté en figure 10.

Côté HAUTE TENSION. — Il existe trois arrivées de lignes à 63 000 v. Immédiatement après les entrées de

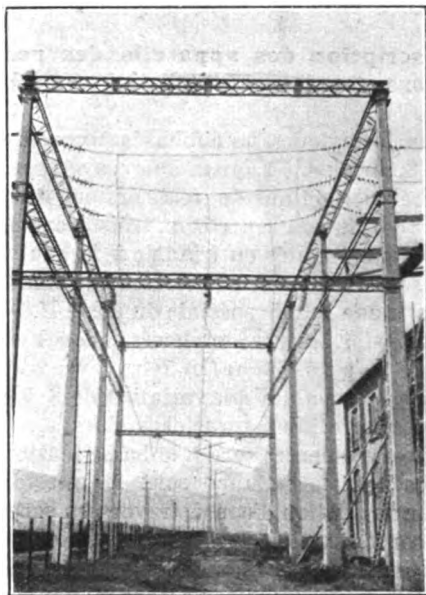


Fig. 6. — Portique d'arrivée des trois lignes à 63 000 v.

poste, un jeu de parafoudres électrolytiques type AK Westinghouse et un jeu de limiteurs à jet d'eau sont branchés sur chacune des trois lignes.

Un disjoncteur type GA avec bornes type condensateur commande chacune des arrivées.

A la sortie de l'interrupteur automatique, deux jeux de sectionneurs permettent d'envoyer le courant des lignes, soit sur l'interrupteur de couplage de chacune des lignes avec le jeu de barres général, soit sur l'interrupteur automatique qui commande l'alimentation des transformateurs ou des postes.

En résumé, il existe trois séries d'interrupteurs automatiques ou d'interrupteurs, qui se décomposent ainsi : trois interrupteurs automatiques d'arrivée, trois interrupteurs de couplage, quatre interrupteurs automatiques de départ et qui commandent :

a) Le groupe de trois transformateurs monophasés de 6 700 kv-A, 63 000/12 500 v, placé à l'intérieur du poste II et destiné à l'alimentation des fours à carbure du bâtiment n° II.

b) Le groupe de deux transformateurs triphasés de 3 000 kv-A, 63 000/12 500 v, destiné à l'alimentation des fours à cyanamide, ainsi qu'aux machines qui produisent l'azote.

c) Le groupe de trois transformateurs monophasés de 6 700 kv-A, 63 000/12 500 v, placé à l'intérieur du poste I (poste annexe), et destiné à l'alimentation des fours à carbure du bâtiment n° I.

d) Le groupe de trois transformateurs monophasés de 6 700 kv-A, placé à l'intérieur du poste III et destiné, à l'alimentation des fours à carbure du bâtiment n° III.

Tout l'appareillage à 63 000 v a été centralisé dans le poste n° II, les manœuvres de mise en service et de coupure (côté 63 000 v) des transformateurs des deux postes annexes s'effectuent au pupitre du poste II.

Les postes annexes I et III sont alimentés par deux lignes à 63 000 v, sortant du poste II par la toiture.

Côté BASSE TENSION. — Le courant à 63 000 v est transformé à 12 500 v pour être envoyé aux bâtiments des

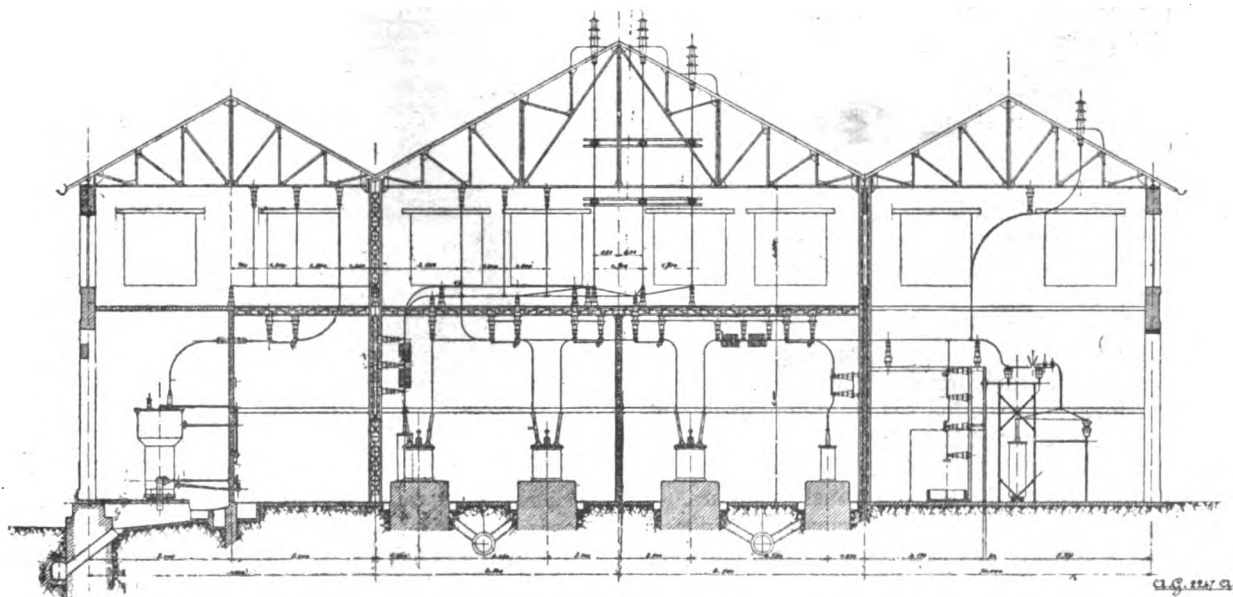


Fig. 7. — Coupe transversale de l'usine.

fours à carbure et à cyanamide. Dans les trois postes, un jeu de barres à 12 500 v a été installé. Sur chacun des jeux de barres, pour donner une plus grande souplesse à l'installation, on a branché deux départs principaux commandés par des interrupteurs automatiques à manœuvre électrique. Chaque départ se subdivise lui-

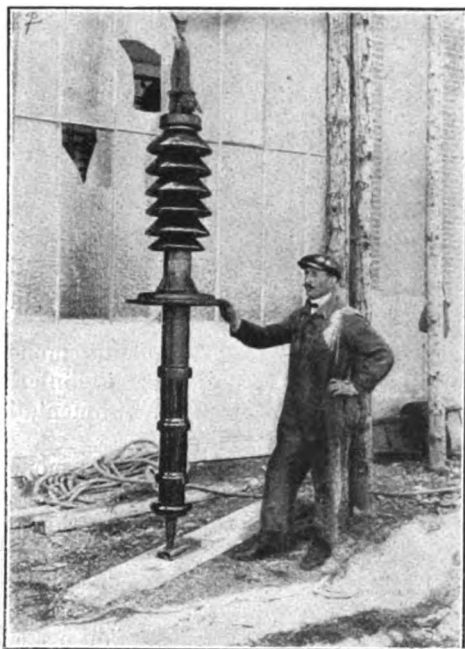


Fig. 8. — Vue d'un isolateur d'entrée de ligne.

même en quatre départs destinés à alimenter les appareils de fours.

Les départs à 12 500 v des postes I, II, III vers les fours à carbure des bâtiments I, II, III, ont été constitués en câbles armés. Ces câbles aboutissent aux interrupteurs automatiques à 12 500 v qui commandent les transformateurs de fours.

On remarque sur le schéma général un jeu de sectionneurs inverseurs entre l'interrupteur automatique de départ et les départs en câble; ces sectionneurs permettent de réaliser l'équilibrage des phases lorsque l'on effectue des changements de fours; sur les quatre fours, deux ou trois seulement sont en fonctionnement d'une façon permanente.

Huit câbles armés partent de chacun des postes et aboutissent à huit interrupteurs automatiques qui commandent autant de transformateurs de fours.

Les transformateurs de fours sont au nombre de huit par bâtiment; le courant à 12 500 v est transformé à 100 v pour l'alimentation des fours à carbure disposés dans un hall contigu à la salle des transformateurs.

Les départs à 12 500 v des transformateurs triphasés de 3 000 kv-A destinés aux bâtiments à cyanamide et à azole sont également commandés par deux interrupteurs automatiques à commande électrique.

Ces départs ont été effectués en câble armé. Une dé-

rivation prise sur le jeu de barres à 12 500 v permet d'alimenter un groupe de deux transformateurs de 100 kv-A destinés aux services auxiliaires du poste central (éclairage, groupe convertisseur pour la charge de la batterie d'accumulateurs, la commande électrique des interrupteurs étant à courant continu.)

III. Description des appareils des postes. — 1^{er} Transformateurs. — L'installation complète comprend :

Dix transformateurs monophasés 6 700 kv-A avec $\cos \varphi = 0,8$, 50 p : s, 63 000/12 500 v, avec bornes supplémentaires permettant de réaliser une variation de ± 5 pour 100. Ils sont répartis en trois groupes de trois transformateurs montés en triangle à la haute tension et à la basse tension, un transformateur étant mis en réserve dans une cellule spéciale du poste II.

Deux transformateurs triphasés 3 000 kv-A, avec $\cos \varphi = 0,8$, 50 p : s, 63 000/12 500 v, avec bornes supplémentaires permettant une variation de ± 5 pour 100 sur le secondaire. Ces transformateurs sont montés étoile-étoile avec neutre sorti à la basse tension.

Tous les transformateurs sont à refroidissement d'huile par circulation d'eau à travers un serpentin en acier. La consommation d'eau pour maintenir les températures garanties au cahier des charges est de 70 litres à la minute pour les transformateurs monophasés et de



Fig. 9. — Isolateurs d'entrée de ligne après leur fixation.

50 litres à la minute pour les transformateurs triphasés.

La cuve réservoir est en tôle lisse de 5 mm rivée sur une base en fonte comportant des galets de roulement; elle est munie d'une vanne permettant la vidange rapide de l'huile, d'un petit robinet de fond de purge ainsi que

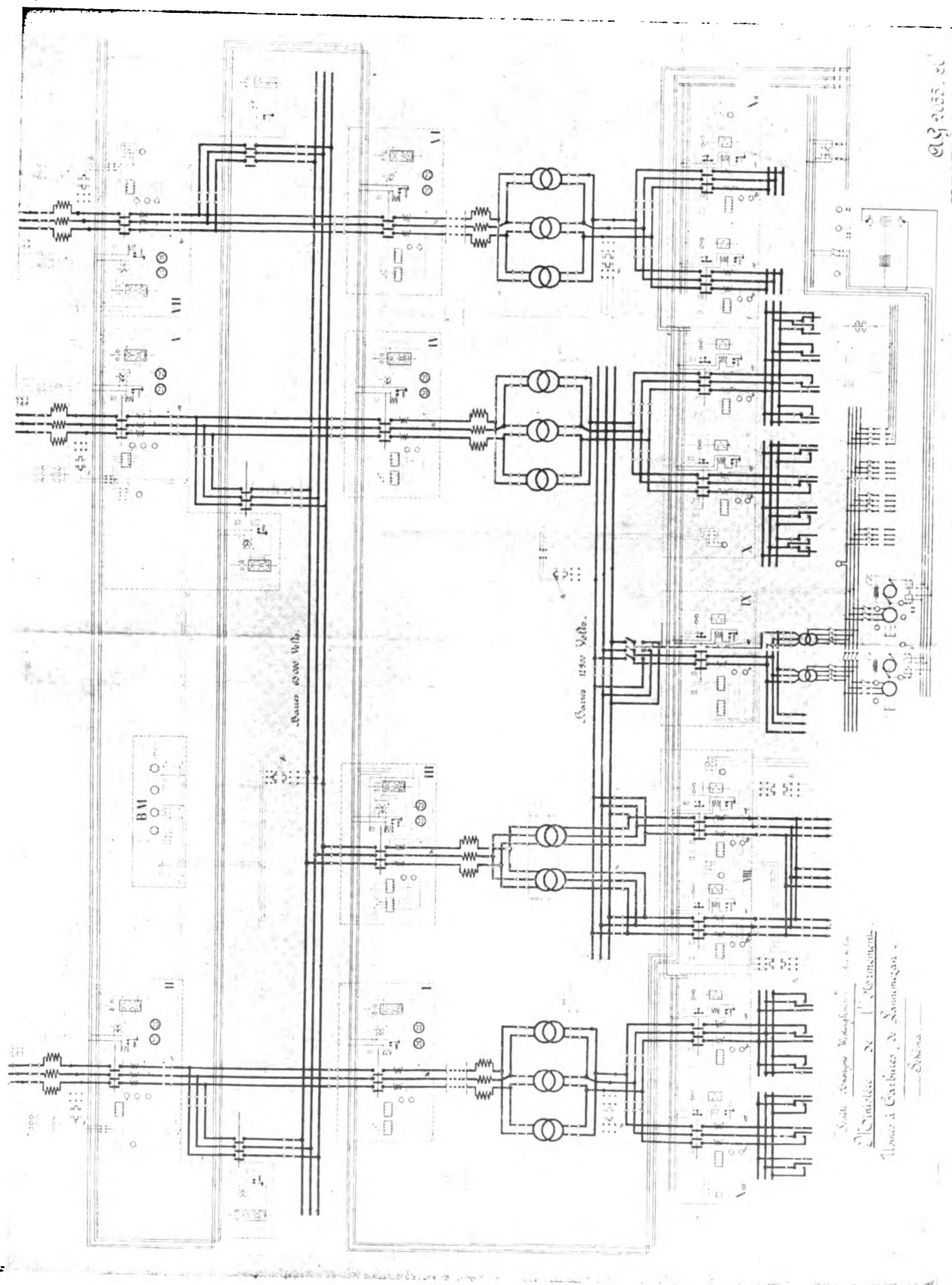


Fig. 10. — Schéma général de l'installation.

de prises pour le filtrage en marche de l'huile ; un niveau d'huile, un indicateur de température à contact réglable et un indicateur de manque d'eau complètent l'équipement. De puissants anneaux placés à la partie inférieure de la base facilitent la manutention de ces appareils.

Les cellules des transformateurs sont absolument hermétiques ; des caniveaux souterrains permettent, en cas d'incendie, l'évacuation de l'huile dans une cuve en béton placée à l'extérieur des postes.

La manœuvre de la vanne de vidange s'effectue au moyen d'un volant placé en dehors des cellules ; les prises pour le filtrage, le niveau d'huile et les différents interrupteurs automatiques sont également en dehors de la cellule.

CARACTÉRISTIQUES DES TRANSFORMATEURS. — Chutes de tension. — Les chutes de tension entre marche à vide et marche à pleine charge exprimées en pourcentage de la tension secondaire sont :

- 1° Pour les transformateurs monophasés de 6 700 kv-A :
0,55 pour 100 pour $\cos \varphi = 1$;
5,80 pour 100 pour $\cos \varphi = 0,8$.
- 2° Pour les transformateurs triphasés de 3 000 kv-A :

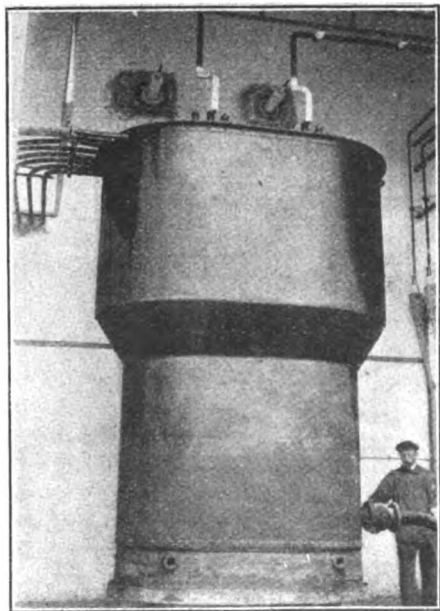


Fig. 11. — Transformateur monophasé 6 700 kv-A, 50 p. s. 6 300/12 500 v, à refroidissement par circulation d'eau.

- 0,92 pour 100 pour $\cos \varphi = 1$;
5,80 pour 100 pour $\cos \varphi = 0,8$.

Pertes à vide. — Les pertes à vide sont de :

- 1° Pour les transformateurs monophasés de 6 700 kv-A :
31 000 w, soit 0,463 pour 100 ;
- 2° Pour les transformateurs triphasés de 3 000 kv-A :
19 000 w, soit 0,83 pour 100.

Réactance. — La réactance est de 9 pour 100 pour les transformateurs monophasés de 6 700 kv-A, et de 8,5 pour 100 pour les transformateurs triphasés de 3 000 kv-A.

Surcharges. — Les surcharges admises pour les deux types de transformateurs sont de :

- 30 pour 100 pendant deux heures ;
- 50 pour 100 pendant 15 minutes ;
- 100 pour 100 momentanément.

Poids. — Les poids des appareils sont les suivants :

| | Poids net sans huile. | Poids de l'huile. |
|--------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| Transformateurs monophasés de 6 700 kv-A..... | 16 000 kg | 6 100 kg |
| Transformateurs triphasés de 3 000 kv-A..... | 12 500 kg | 4 000 kg |

Les transformateurs de 6 700 kv-A sont représentés figure 11.

2° **Interrupteurs automatiques.** — Les interrupteurs automatiques à 63 000 v sont du type G. A., analogues à ceux qui sont installés dans les centrales du Louron ; ils sont tripolaires, à bacs séparés et double rupture par pôle ; ils sont garantis pour une capacité de

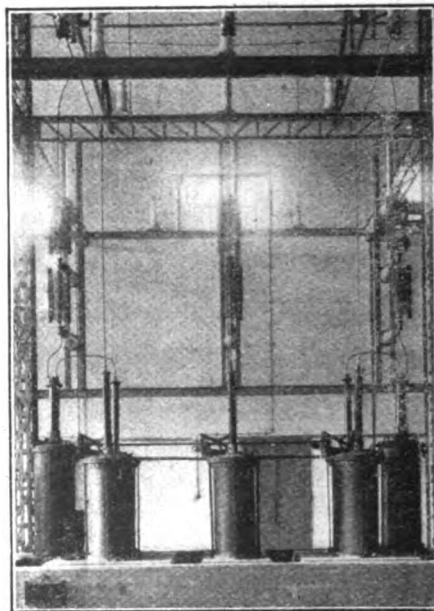


Fig. 12. — Disjoncteur G. A. 63 000 v avec des transformateurs d'intensité.

rupture instantanée de 200 000 kv-A (fig. 12) ; ils sont à commande électrique et mécanique ; la figure 13 montre le dispositif d'enclenchement et de déclenchement. Les bornes sont du type condensateur. Les trois interrupteurs automatiques d'arrivée de lignes sont munis de transformateurs série montés sur les bornes et à l'intérieur de la cuve.

La figure 14 montre que tous ces interrupteurs automatiques du poste central ont été montés sur des massifs en béton, ce qui les met hors d'atteinte du per-

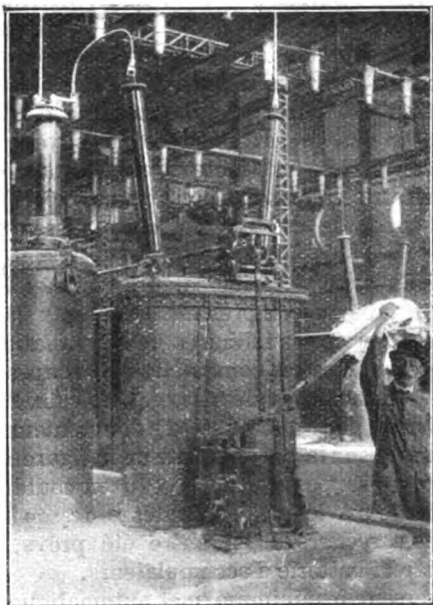


Fig. 13. — Vue d'un disjoncteur à 63 000 v.

sonnel. Tous ces massifs possèdent des ouvertures reliées à une canalisation d'évacuation extérieure. En cas d'explosion d'une cuve, l'huile serait évacuée dans la cuve en béton placée à l'extérieur du bâtiment.

3° Transformateurs de mesure. — Un jeu de transformateurs shunt à 63 000 v a été prévu sur chacune des arrivées ; en outre, un jeu de transformateurs

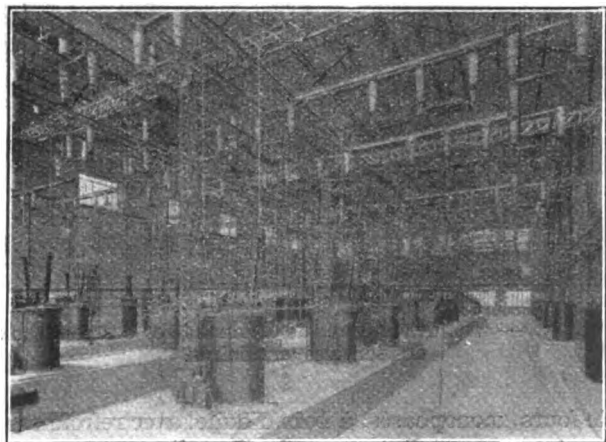


Fig. 14. — Vue de la salle des interrupteurs automatiques à 63 000 v.

shunt 63 000 v a été disposé sur le jeu de barres général pour faciliter la manœuvre de la mise en parallèle des centrales entre elles.

Des transformateurs série à 63 000 v ont été disposés sur chacun des interrupteurs automatiques de départ, ces transformateurs alimentant les appareils de contrôle et de mesure des différents départs (fig. 15).

Les connexions reliant les différents appareils ont été effectuées en cuivre rond de 15 mm de diamètre. Les isolateurs supports de connexions sont en porcelaine.

4° Protection. — La protection contre les surtensions d'origine interne est réalisée par des limiteurs à jet d'eau.

La protection contre les surtensions d'origine externe est réalisée par des parafoudres électrolytiques type A.K.

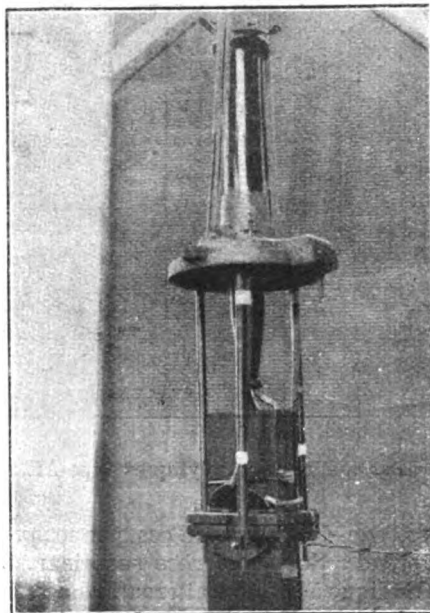


Fig. 15. — Bornes et bobinage des transformateurs série à 63 000 v.

pour intérieur, composés de quatre éléments branchés un sur chaque phase et un entre neutre et terre (fig. 16). Un inverseur permet, lors de la formation journalière, de charger l'élément relié à la terre.

5° Pupitres de commande. — Les appareils de commande des interrupteurs automatiques à 63 000 v ont été réunis en un seul pupitre, placé dans le poste central. Ce pupitre comprend, en outre, les appareils de commande des interrupteurs automatiques à 12 500 v du groupe de trois transformateurs monophasés de 6 700 kv-A du poste II, de deux transformateurs triphasés de 3 000 kv-A et des transformateurs de 100 kv-A des services auxiliaires. La partie gauche de la figure 17 donne une vue d'ensemble du pupitre.

Le pupitre est constitué par dix groupes de panneaux dont trois servant au contrôle de chacune des arrivées des lignes à 63 000 v ; deux pour le contrôle

de l'alimentation à 63 000 v du groupe de transformateurs monophasés de 6 700 kv-A et des deux transformateurs triphasés de 3 000 kv-A du poste II ; deux pour le contrôle des départs basse tension (12 500 v) vers les fours à carbure et les fours à cyanamide ; un pour le contrôle de la dérivation basse tension (12 500 v) destinée aux services auxiliaires ; et deux pour le contrôle des départs à 63 000 v des postes I et III.

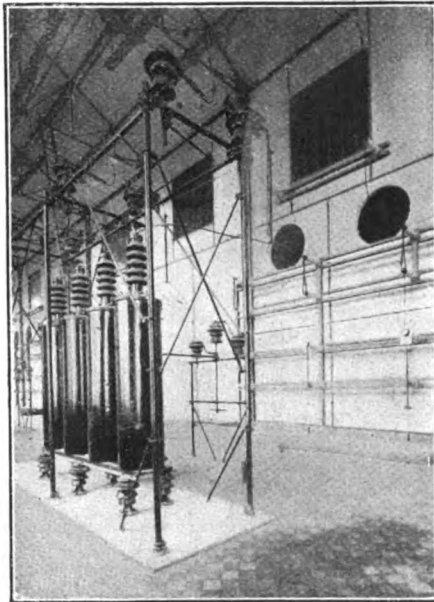


Fig. 16. — Parafoudres électrolytiques type AK, 63 000 v.

L'appareillage de chacun de ces panneaux de contrôle comprend : Sur le marbre supérieur, un volt-mètre apériodique à courant alternatif 100 v, à échelle fictive, gradué pour 63 000 v ou 12 500 v ; trois ampèremètres apériodiques 5 A à échelle fictive ; un watt-mètre indicateur triphasé à phases non équilibrées ou un wattmètre enregistreur ; un compteur.

Sur le marbre tablette du pupitre : les contrôleurs pour commande électrique de l'interrupteur automatique 63 000 v ou 12 500 v ; deux lampes indicatrices de position rouge et verte ; un commutateur de volt-mètre ; un commutateur à fiche pour la synchronisation.

Derrière le marbre supérieur, sont fixés sur des ferures : deux relais unipolaires à maximum et à temps, à retard réglable inversement proportionnel à la surcharge ; trois relais à retour d'énergie pour chacune des arrivées à 63 000 v ; les contacteurs qui ferment les circuits d'alimentation des bobines d'enclenchement des interrupteurs automatiques.

Sur les marbres tablettes des dix pupitres sont disposées des baguettes en laiton représentant le schéma général de l'installation.

En outre, des appareils de synchronisation ont été prévus pour le couplage des diverses lignes d'arrivée ;

ils sont disposés sur une colonne placée en dehors du pupitre et comprennent un synchronoscope, un fréquencemètre, un voltmètre de synchronisation gradué jusqu'à 150 000 v et branché sur les transformateurs shunt du jeu de barres 70 000 v, et deux lampes indicatrices de phase.

Toutes les commandes auxiliaires sont alimentées par du courant continu à la tension de 110 v. Ce courant continu est fourni par une batterie d'accumulateurs dont la charge est effectuée au moyen de deux groupes convertisseurs (moteur asynchrone triphasé 220 v génératrice à courant continu 110/160 v).

La puissance de ces groupes convertisseurs est de 13 kw.

A côté du pupitre principal de commande, a été disposé un tableau comprenant différents panneaux destinés aux services auxiliaires de l'installation (éclairage — interrupteurs de commande des groupes convertisseurs — panneaux de démarrage, tableaux de charge et de décharge pour la batterie d'accumulateurs) et qui est représenté sur la partie droite de la figure 17.

L'éclairage du poste a été prévu en courant alternatif alimenté par les transformateurs de 100 kv-A. Un éclairage de secours a en outre été prévu, il sera effectué par la batterie d'accumulateurs.

Un inverseur à minimum met automatiquement en service l'éclairage de secours lorsqu'il y a manque de courant du côté alternatif.

IV. Transformateurs de fours. — Chacun des trois bâtiments comporte un groupe de transformateurs

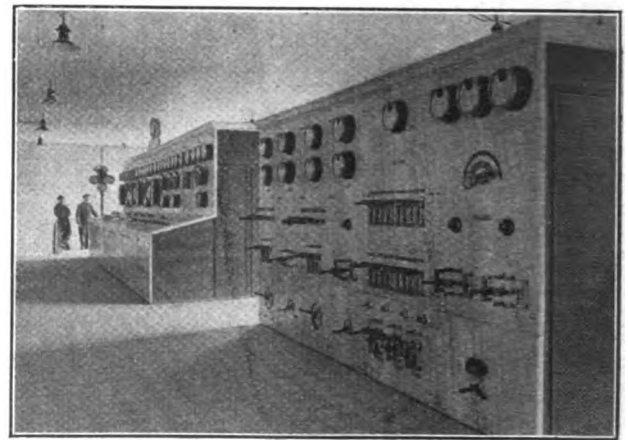


Fig. 17. — Vue des pupitres de commande et des panneaux des services auxiliaires.

de fours, monophasés, à bain d'huile, avec refroidissement au moyen d'un serpentín (fig. 18).

Ces transformateurs sont du type cuirassé. L'ensemble des enroulements présente une grande rigidité ; ils peuvent supporter une mise en court-circuit franche du côté basse tension sans avoir à craindre aucune déformation.

Leur puissance est de 2500 kv-A avec un facteur

de puissance de 0,95, et une fréquence de 50 p. s.

Les tensions sont : primaire, 12 500 v ; secondaires, 85-90-95-100 v et 42,5-45-47,5-50-52,5 v en pleine charge avec $\cos \varphi = 0,95$.

Ces tensions secondaires sont obtenues par des prises supplémentaires au nombre de quatre faites au primaire. Toutes ces prises sont sorties à travers des



Fig. 18. — Transformateurs monophasés 2 500 kv-A destinés à l'alimentation des fours à carbure.

porcelaines concentriques et disposées en forme de fanions.

Les deux ensembles de tensions (côté basse tension) sont obtenus par le groupement des circuits secondaires en série ou en parallèle.

Il était nécessaire de prévoir deux tensions secondaires, 100 v et 50 v, parce que les transformateurs devaient pouvoir alimenter un four ou deux fours en série, chaque four nécessitant environ 50 v.

CARACTÉRISTIQUES DE CONSTRUCTION DES TRANSFORMATEURS DE FOURS. — Le refroidissement de l'huile des transformateurs est obtenu par circulation de l'eau à travers un serpentín en tubes d'acier. La consommation d'eau pour maintenir les températures garanties est de 42 litres par minute.

La cuve est en tôle lisse de 5 mm rivée sur une embase en fonte munie de galets de roulement et d'une rainure d'huile.

La vidange de l'huile se fera par un siphonnage de 60 à 70 mm de diamètre et par un petit robinet de fond de purge. La cuve comporte également un niveau d'huile.

La base comporte des anneaux destinés à l'enlèvement ainsi qu'au déplacement des transformateurs.

Chutes de tension. — Les chutes de tension entre la pleine charge et la marche à vide sont :

1° à 12 500 v et 50 ou 100 v ± 5 pour 100 :

de 1,05 pour 100 avec $\cos \varphi = 1$; 5,40 pour 100 avec $\cos \varphi = 0,8$;

2° à 12 500 v, et 45 ou 90 v ± 5 pour 100 :

de 1,25 pour 100 avec $\cos \varphi = 1$; 5,60 pour 100 avec $\cos \varphi = 0,8$.

Pertes à vide. — Pour le rapport de 12 500 v à 50 ou 100 v ± 5 pour 100, les pertes à vide seront de 14 800 w, soit 0,59 pour 100 de la puissance totale, et de 12 000 w, soit 0,48 pour 100 à 45 ou 90 v ± 5 pour 100.

Réactances. — Elles sont : à 45-90 v, de 7,50 pour 100 environ ; à 50-100 v, de 6,5 pour 100 environ.

Surcharges. — Les surcharges admises sont de : 30 pour 100 pendant trois heures ; 50 pour 100 pendant trente minutes.

Poids. — Le poids net d'un transformateur, sans huile, est de 10 000 kg. Le poids de l'huile nécessaire au premier remplissage de cet appareil est de 3 600 kg.

INTERRUPTEURS AUTOMATIQUES DES TRANSFORMATEURS DE FOURS. — Chacun de ces transformateurs de fours est commandé par un interrupteur automatique à 12 500 v ; cet interrupteur automatique est placé dans une cabine disposée contre le transformateur, comme l'indique la figure 19.

Les transformateurs de mesure destinés aux appareils de comptage, ainsi qu'aux relais, sont disposés également dans cette cabine.

Sur la face avant se trouve placé un tableau en

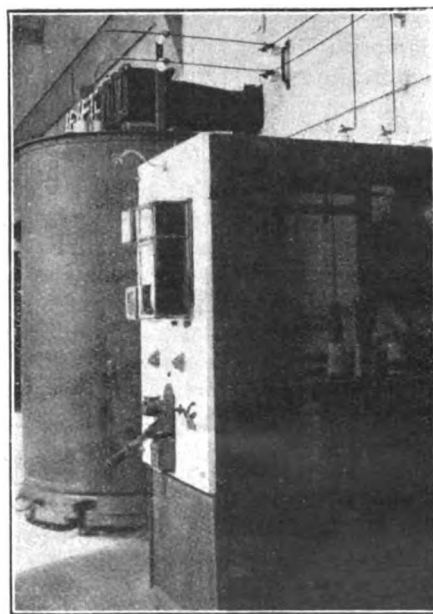


Fig. 19. — Transformateur 2 500 kv-A pour four à carbure et sa cabine.

marbre portant les différents appareils (ampèremètre enregistreur, relais, un compteur et un levier de commande de l'interrupteur automatique). Deux lampes témoins complètent l'équipement de ces panneaux.

L'interrupteur automatique à huile, bipolaire, est à double coupure par pôle, à bacs séparés, et il est prévu pour 15 000 v et 400 a ; sa capacité de rupture instan-

tanée est de 10 000 kv-A ; il est muni d'une bobine à maximum fonctionnant par l'intermédiaire d'un relais, ainsi que d'une bobine à minimum de tension branchée sur la basse tension des transformateurs de fours ; dans le circuit des bobines à minimum, ont été disposés deux interrupteurs auxiliaires avec lampes de signalisation ; ces interrupteurs sont disposés, l'un sur le podium, l'autre dans le poste de réglage et permettent d'effectuer le déclenchement des interrupteurs automatiques de l'un quelconque de ces endroits.

Pour la manœuvre d'enclenchement, le personnel est obligé de venir à la cabine de commande du transformateur.

EQUIPEMENT DU POSTE DE RÉGLAGE DES ÉLECTRODES. — Le réglage des électrodes de chaque demi-bâtiment de fours s'effectue d'un poste de réglage. L'appareillage nécessaire pour cette opération consiste, pour chacun des fours, en un ampèremètre électromagnétique, graduation de 15 000 à 35 000 A, branché sur le transformateur série placé à l'intérieur de la cabine des interrupteurs automatiques. Ces appareils sont à grande échelle, à cadran lumineux.

Deux voltmètres électromagnétiques montés en série sont branchés entre les deux électrodes, le point commun entre les deux voltmètres étant mis à la sole du four.

Deux lampes indicatrices de position pour l'interrupteur automatique, ainsi qu'un interrupteur pour la coupure à minimum dont nous avons parlé plus haut, complètent cet appareillage.

La commande mécanique des électrodes s'effectue par l'intermédiaire de treuils, soit électriquement au moyen d'un petit moteur commandé par un inverseur, soit mécaniquement au moyen d'un volant.

Un seul chef de poste règle la marche de quatre groupes de deux fours monophasés en série.

Les quatre panneaux de marbre portant les appareils énoncés plus haut sont disposés l'un contre l'autre en forme de pan coupé pour permettre de suivre facilement la marche dans les huit fours à la fois.

V. Séchage des transformateurs. Mise en service. — L'ensemble des transformateurs installés représentent une puissance totale d'environ 130 000 kv-A. Il était nécessaire de prévoir des dispositions pour le montage, le séchage, ainsi que la réparation éventuelle des transformateurs.

A cet effet, il a été établi un atelier de réparations électriques ainsi qu'un bâtiment spécial pour la manutention et le séchage des transformateurs. Ce bâtiment, est muni d'un pont roulant de 20 t ; les wagons portant les transformateurs y accèdent directement.

L'appareil de séchage est constitué par une étuve en brique communiquant avec un groupe ventilateur qui envoie l'air destiné au séchage à travers une résistance de chauffage constituée par des grilles en fonte.

Le séchage d'un noyau de transformateur de 6 700 kv-A a duré de douze à quinze jours, la température dans

l'étuve étant maintenue entre 70° et 75°C ; des mesures d'isolement étaient effectuées plusieurs fois par jour au moyen d'un galvanomètre.

Les courbes d'isolement obtenues par ce séchage affectent l'allure de la courbe représentée à la figure 20.

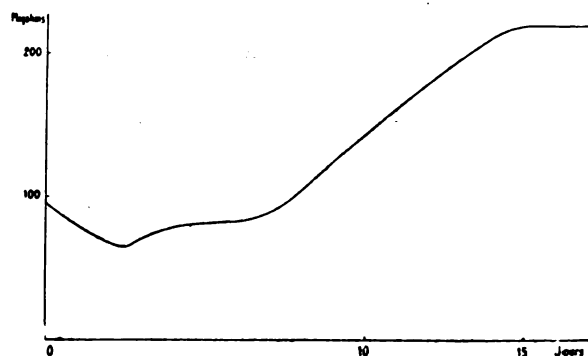


Fig. 20. — Courbe représentative de la variation de l'isolement d'un transformateur en fonction de la durée de séchage, en jours.

Le séchage de l'huile a été effectué dans un réservoir métallique placé dans une fosse, et, pour le chauffage de l'huile, des résistances en fil de fer ont été disposées dans ce réservoir.

La température de l'huile a été maintenue à environ 60° pendant la durée du séchage.

Pour faciliter la déshydratation de l'huile, celle-ci est mise en circulation d'une façon constante à travers un filtre-presse (figure 21) ; elle est aspirée par la

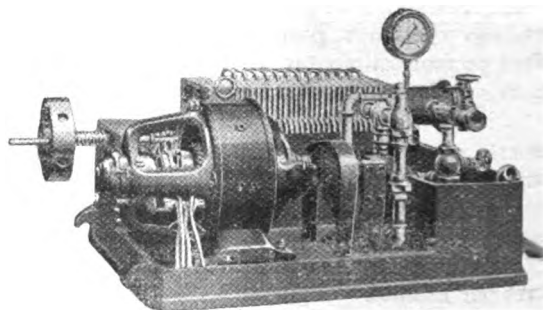


Fig. 21. — Vue d'un filtre-presse complet.

pompe du filtre-presse, passe au travers d'un filtre constitué par des feuilles de buvard et est ensuite renvoyée dans le réservoir. Cette circulation a, en outre, pour but d'éviter la carbonisation de l'huile.

La marche du séchage de l'huile est suivie régulièrement, deux fois par jour, au moyen d'un appareil d'essais d'huile ; cet appareil, représenté (fig. 22), comporte un transformateur susceptible de donner une tension d'essais allant jusqu'à 60 000 V.

L'huile à essayer est placée dans une éprouvette et l'épreuve d'isolement consiste à déterminer la tension d'éclatement entre deux sphères métalliques placées à

une distance déterminée à l'intérieur de l'éprouvette.

La moyenne des essais pour de l'huile considérée comme sèche donnait une valeur d'environ 45 000 v

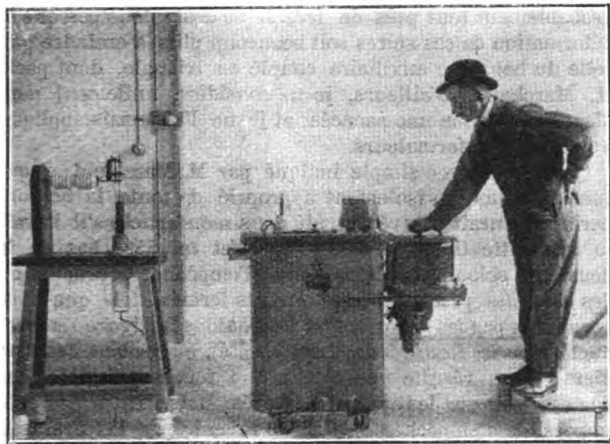


Fig. 22. — Appareils d'essais d'huile.

pour un écartement des sphères égal à 3,8 mm.

Pour éviter qu'au moment du claquage de l'huile dans l'éprouvette le transformateur d'essais puisse être avarié, cet appareil est muni d'un interrupteur auto-

matique ainsi que de fusibles de protection; ces appareils sont fixés sur la cuve du transformateur.

Le réglage de la tension d'essai s'effectue au moyen d'un rhéostat dont la poignée de manœuvre se trouve, comme on peut le voir sur la photographie, à la partie supérieure du transformateur d'essais.

La mise en service des installations à 63 000 v de Lannemezan a été effectuée en juillet 1921. Les parafoudres électrolytiques de l'une des arrivées de lignes ont été également mis en service.

Ces parafoudres ont fonctionné pendant tout l'été 1921 d'une façon absolument satisfaisante; la formation de ces parafoudres électrolytiques avait été effectuée en formant séparément chacun des éléments en faisant une mise sous tension progressive des éléments complets.

L'installation à 12 500 v pour les fours à carbure n'est pas encore, à l'heure actuelle, en fonctionnement, puisque le ministère de l'Armement n'a pas mis en service les fours à carbure auxquels ce matériel est destiné. Actuellement, l'usine de Lannemezan est alimentée à 63 000 v par l'usine d'Eget appartenant à la Compagnie des Chemins de fer du Midi.

WATERNAUX,

Ingénieur à la Compagnie Electro-Mécanique.

Sur l'harmonique 3 des transformateurs triphasés

Sous ce titre a paru dans le numéro du 23 avril 1921, t. IX, p. 557-559, un article de M. H. de Pistoye où l'auteur rappelait que dans les transformateurs triphasés à colonnes, bobinés en étoile-étoile, l'harmonique 3 produit par la saturation du fer donne lieu à des pertes sensibles; puis indiquait un moyen pratique d'atténuer ces pertes, moyen consistant à entourer l'ensemble des trois colonnes des transformateurs et de leurs enroulements de quelques spires de cuivre fermées sur elles-mêmes. En février dernier, M. Rob. Marchand, ingénieur électricien à Belfort, nous écrivait que, à la suite de la lecture de cet article, qu'il venait seulement de connaître, il croyait utile de signaler que le dispositif précité avait déjà été employé. Cette lettre ayant été communiquée à M. de Pistoye, une correspondance s'ensuivit entre celui-ci et M. R. Marchand. Nous reproduisons ci-dessous cette correspondance qui apporte à la question traitée par M. de Pistoye une contribution intéressante au point de vue de la pratique de la construction des transformateurs.

Première lettre de M. Rob. Marchand. — Dans cette lettre, en date du 8 février, M. Rob. Marchand, après avoir signalé qu'il avait eu l'occasion de voir antérieurement l'application du dispositif préconisé par M. de Pistoye, ajoutait que ce dispositif peut donner lieu à des inconvénients :

Il n'est pas toujours possible, écrivait-il, d'envisager sans inconvénient des spires fermées autour de l'ensemble des trois colonnes. Pour des transformateurs de grande puissance surtout, cette solution ne me semble guère indiquée vu les efforts mécaniques développés au moment des courts-circuits et la difficulté de caler d'une manière satisfaisante ces quelques spires. J'ai pu me rendre compte, il y a quelque temps, sur un transformateur de construction étrangère de 10 000 kv-A monté en étoile, que cet effet n'est pas négligeable. Ce transformateur possédait un troisième enroule-

ment connecté en triangle et servant d'amortisseur. Malgré que le calage parut satisfaisant, cet enroulement ne supportait pas les court-circuits : il fut complètement déformé.

Il y a d'ailleurs un moyen plus simple et aussi efficace d'atténuer les pertes provoquées par l'harmonique 3 ; il consiste dans un isolement approprié de toute la boulonnerie.

Réponse de M. de Pistoye. — A cette lettre, M. de Pistoye répondait le 16 février :

Je serais très heureux que M. Marchand voulût bien me communiquer les antécédents qu'il connaît au dispositif que j'ai indiqué pour réduire les pertes parasites dues à l'harmonique 3 des transformateurs triphasés. Je connaissais depuis longtemps le procédé consistant à coupler l'un des bobinages en triangle (j'ai signalé dans mon article que cette

mise en triangle permet d'obtenir une variation sinusoïdale du flux). L'emploi d'un troisième bobinage couplé en triangle, quand le primaire et le secondaire sont en étoile, s'en déduit immédiatement. Ce procédé a même été breveté en Amérique. Mais l'emploi d'un troisième bobinage n'est admissible que dans des cas très exceptionnels et pour de gros transformateurs seulement ; en dehors de là, il majorerait le prix de revient bien plus que ne le ferait une augmentation de la section de tôle destinée à réduire l'induction et, par suite, l'harmonique 3. Le troisième bobinage n'a été, je crois, employé que sur des transformateurs de forte puissance où sa présence était rendue utile par d'autres considérations (alimentation de services auxiliaires, etc.)

Au contraire, le dispositif que j'ai proposé et auquel, jusqu'à présent, je ne connaissais pas d'antériorités, est d'une application facile sur les transformateurs de puissance moyenne et peut même être ajouté, après coup, à des appareils donnant lieu à des pertes parasites imprévues ; c'est d'ailleurs toujours dans ces conditions que je l'ai employé.

Je crois, comme M. Marchand, qu'il est assez difficile de caler très solidement les spires d'amortissement de l'har-

monique 3, mais, comme elles sont assez loin du circuit magnétique, les fuites sont très grandes, et le courant de court-circuit dans ces spires est certainement bien moindre que dans un bobinage auxiliaire couplé en triangle et logé probablement tout près du fer. Je ne crois donc pas que la déformation de ces spires soit beaucoup plus à craindre que celle du bobinage auxiliaire couplé en triangle, dont parle M. Marchand. D'ailleurs, je ne considère nullement mon dispositif comme une panacée, et je ne l'ai jamais appliqué à de gros transformateurs.

Quant au moyen simple indiqué par M. Marchand, et qui consiste dans un isolement approprié de toute la boulonnerie, il l'aurait trouvé signalé dans mon article s'il l'avait lu avec attention. Je disais en effet (p. 558, bas de la deuxième colonne) : « Il est facile d'empêcher la production des courants parcourant les circuits fermés, tels que ceux constitués par les flasques F et les boulons B (figure 1, reproduction de la figure 3 de l'article cité), en isolant ces derniers ; il en résulte une diminution fort appréciable des pertes à vide sur les appareils saturés. Mais il est à peu près impossible d'empêcher le flux de revenir par les tirants T

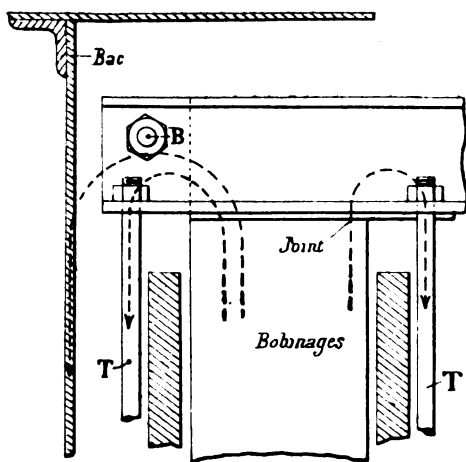
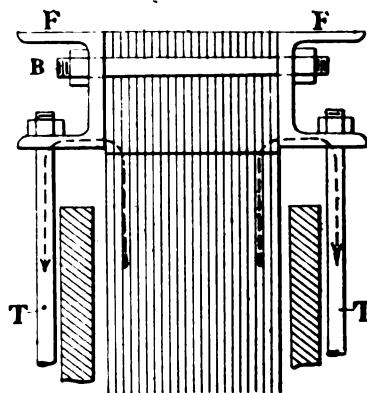


Fig. 1.



et par le bac, à moins de rejeter celui-ci à une distance inadmissible du circuit magnétique, ou de faire les tirants T en métal non magnétique, toujours coûteux ». Il y a fort longtemps que j'isole toute la boulonnerie des transformateurs triphasés, mais j'ai constaté que, pour certains appareils saturés, ceci est absolument insuffisant ; c'est ce qui m'a amené au dispositif indiqué dans mon article.

Seconde lettre de M. Rob Marchand. — Le 26 février, M. Rob Marchand répondait :

1° Il existe du principe et du dispositif même de M. de Pistoye, des antériorités dans la presse technique et dans la pratique industrielle. Ce sont, cependant, uniquement ces dernières que je visais dans ma première note. En effet, j'ai vu, il y a huit ans environ, à la plate-forme d'essais d'une maison étrangère, un petit transformateur qui portait des spires court-circuitées, celles-ci ayant été ajoutées après coup, le transformateur ayant par erreur une trop grande saturation du fer.

Un transformateur triphasé d'une puissance de 16 000 kV-A, de 4 000/56 000 V, 50 p/s, construit et exécuté en 1912 par

l'Elektrizitätsgesellschaft A.-G. de Budapest, porte le dispositif suivant : Entre deux sorties voisines du transformateur, et cela pour les trois phases, est placée une spire court-circuitée de telle façon qu'elle embrasse complètement le flux parasite développé dans le couvercle et dans les plaques de fer qui servent à renforcer le couvercle à l'endroit du passage des boulons de montage.

Le fait est connu que le courant dans les sorties de transformateurs, quand il dépasse une centaine d'ampères, magnétise le fer du couvercle et donne lieu à des pertes supplémentaires. C'est aussi un fait connu dans la pratique industrielle qu'on peut éviter ces pertes en étouffant le flux parasite par les courants de Foucault eux-mêmes, soit par une spire court-circuitée. Vidmar a indiqué ce phénomène dans son livre « Die Transformatoren ».

Sans avoir effectué des recherches complètes à ce sujet, je peux néanmoins citer comme antériorité dans la presse technique l'article du Dr Arthur Mandl, intitulé : Die Magnetisierung des Dreiphasentransformators et paru dans « Elektrotechnik und Maschinenbau » (année 1918, p. 185-189 et 197-201). L'auteur parle des courants de Foucault développés dans les tôles de la cuve et dit dans la première colonne à la

page 201 : « Si nous mettons autour des trois noyaux un enroulement en cuivre de forte section, le flux parasite des trois phases (a, b, c), $f_a = f_b = f_c$, est étouffé, le flux principal F , F_b , F_c n'étant pas influencé ». Dans le résumé de son article, il dit, à la même page, deuxième colonne : « La composante wattée de ce courant à vide supplémentaire couvre les pertes dans un enroulement amortisseur qui entoure tous les trois noyaux ». Je ne vois pas de différence entre cet « enroulement » amortisseur dont parle M. Mandl et le dispositif indiqué par M. de Pistoye, constitué par « quelques spires ».

2° L'emploi d'un troisième bobinage couplé en triangle n'est, en effet, normalement prévu que sur des transformateurs de forte puissance et seulement sur demande spéciale du client. Je connais un cas où un client a passé une commande de transformateurs de très forte puissance et pour lesquels il exigea ce troisième enroulement uniquement pour parer aux effets de l'harmonique 3.

L'alimentation de services auxiliaires est un cas très spécial parce qu'il exige une fréquence du réseau assez petite, par exemple 16,66 p. s. afin de pouvoir alimenter le service auxiliaire à une fréquence usuelle, par exemple, 50 p. s. (ce troisième bobinage a le courant de l'harmonique 3).

Plus intéressant est le cas des transformateurs de forte puissance bobinés en étoile étoile, le point neutre étant mis à la terre par l'intermédiaire d'une bobine d'induction (bobine de soufflage). Au moment d'une « terre », le courant de dérivation par la terre produit une répartition asymétrique de la charge dans les trois phases du transformateur. Comme cette « terre » peut durer deux heures et davantage, la question suivante se pose : est-il utile de munir les transformateurs d'un troisième bobinage, qui éviterait cette asymétrie tout en ayant les autres avantages précités ?

3° Les transformateurs de moyenne puissance (jusqu'à 1 500 kv.-a.) sont normalement des transformateurs à refroidissement naturel dans l'huile, avec cuves ondulées, constituées par des tôles de 1 à 2,5 mm d'épaisseur. La distance moyenne entre cuve et enroulement est plus grande que dans les transformateurs à parois lisses ; de plus, dans ces derniers, l'épaisseur de la tôle est plus considérable. Pour ces deux raisons, les pertes supplémentaires seront plus grandes dans les transformateurs à parois lisses que dans ceux à parois ondulées.

Pour un groupe constitué par trois transformateurs monophasés, l'ensemble des pertes supplémentaires sera plus considérable que pour le transformateur triphasé équivalent.

Cependant, il y a lieu de faire remarquer que ces pertes supplémentaires n'atteignent pas une valeur inadmissible au point de vue industriel pour un transformateur bien étudié et bien exécuté.

Réponse de M. de Pistoye. — A la lettre précédente, M. de Pistoye, après avoir cherché en vain à se procurer le numéro de l'« Elektrotechnik und Maschi-

nenbau » signalé par M. Marchand, répondait par la lettre suivante du 12 mars 1922.

J'ai pris connaissance de la lettre de M. Marchand, en date du 26 février, que vous avez bien voulu me communiquer.

1° La disposition décrite par M. Marchand, concernant les sorties d'un transformateur de l'Elektrizitäts-Gesellschaft A.G. de Budapest, se rapporte à une question analogue à celle traitée dans mon article, mais nettement différente, puisqu'il s'agit de pertes à la fréquence normale, et non à une fréquence triple.

J'ignorais l'article paru à Vienne dans « Elektrotechnik und Maschinenbau » pendant la guerre ; je n'ai même pu trouver ce numéro de revue dans aucune bibliothèque parisienne. Mais il semble bien, d'après l'extrait cité par M. Marchand, qu'il s'agit du dispositif décrit par moi : je lui en donne acte bien volontiers ;

2° Je me suis sans doute mal exprimé sur l'emploi d'un troisième bobinage pour alimenter des services auxiliaires : je connais des transformateurs à haute tension (50 000 v/20 000 v) comportant un troisième bobinage destiné à alimenter, par exemple, un moteur synchrone avanceur de phase à 5 000 v, et où l'on a couplé ce troisième bobinage en triangle pour amortir l'harmonique 3. Mais il serait à peu près impossible d'alimenter, comme l'a compris M. Marchand, des services auxiliaires avec le courant dû à cet harmonique : ce courant serait monophasé et à tension variable avec l'intensité débitée ; en outre, la puissance disponible serait extrêmement faible et, au fur et à mesure que la résistance introduite par les appareils d'utilisation dans le triangle augmenterait, l'amortissement de l'harmonique 3 diminuerait ;

3° Je n'ai jamais éprouvé de difficultés du fait des pertes parasites dues à l'harmonique 3 dans de gros transformateurs : c'est uniquement dans de petits appareils, notamment à 25 p. s., que j'ai constaté ces phénomènes ; on peut, bien entendu, les éviter, soit en désaturant le fer, soit en plaçant le bac assez loin du circuit magnétique, mais les deux procédés sont coûteux.

Je ne suis pas d'accord avec M. Marchand sur l'avant-dernier paragraphe de sa lettre : dans le cas de trois transformateurs monophasés, le flux dû à l'harmonique 3 prend beaucoup plus d'importance que dans un transformateur triphasé à colonnes, parce que le flux de fréquence triple se ferme dans le circuit magnétique même du transformateur : il en résulte que la force électromotrice induite par cet harmonique est très élevée et peut être fort gênante, si l'on veut, par exemple, mettre le point neutre à la terre ; mais, par contre, le flux, se fermant entièrement dans le circuit magnétique feuilleté, ne donne lieu à aucune perte parasite appréciable.

Il en est de même dans les transformateurs triphasés type cuirassé (voir à ce sujet : *Proceedings A. I. E. E.*, septembre 1915 ; *Electric Journal*, novembre 1919 ; *J. A. I. E. E.*, juin 1921).

Revue, analyses et informations

Sur un nouveau wattmètre.

Nous reproduisons ci-dessous une note de M. CHAUMAT, présentée à une des dernières séances de l'Académie des Sciences (1), au sujet d'un nouveau wattmètre à lecture directe.

Les wattmètres des types Zipernowsky, Carpentier, etc. (à couple de torsion appliqué de l'extérieur pour ramener la bobine mobile à sa position d'équilibre primitive) ont pour eux l'avantage d'une grande sécurité théorique : ils sont rigoureusement proportionnels dans les limites où le couple de torsion d'un ressort est proportionnel à l'angle de torsion. Il en résulte une grande facilité de construction, puisque la graduation peut être faite a priori, et une simplicité d'établissement très grande aussi, puisqu'on peut se borner à déterminer un point. Ils présentent, par contre, un inconvénient très grave en ce que les moindres vibrations extérieures amorcent des oscillations de l'aiguille qui rendent incertaine la position d'équilibre. Ces vibrations extérieures sont surtout dues à l'intervention directe de l'observateur qui tourne le tambour de torsion : dans le cas d'un régime peu constant, cette intervention est de chaque instant et la précision de la lecture devient médiocre même entre les mains d'opérateurs exercés.

Ceci explique la grande faveur dont jouissent, à l'heure actuelle, les wattmètres à lecture directe, surtout si le système mobile est pivoté et non suspendu et si le couple de torsion est donné par des spiraux et non par des ressorts en hélice. Mais ces appareils nécessitent une graduation particulière à moins qu'ils ne répondent à une condition qui en fait des appareils proportionnels : c'est le cas du wattmètre de Siemens et Halske.

Cette condition est la suivante :

Soit M le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits du wattmètre. Soit α l'angle des deux plans d'enroulement de ces deux circuits. La valeur du couple électrodynamique développé par deux courants I et i est

$$Ii \frac{dM}{d\alpha}.$$

Ce couple est équilibré par un couple de torsion $P\beta$ (β angle de torsion du ressort, angle ayant une origine quelconque).

On voit que, si Ii est proportionnel à P (cas des wattmètres où P représente la puissance à mesurer) et si, d'autre part,

$$\frac{dM}{d\alpha} = \text{constante},$$

β sera proportionnel à P .

Pour qu'un appareil à lecture directe soit à indications proportionnelles, il faut donc que M soit une fonction linéaire de l'angle α .

Or cette condition ne peut être remplie que d'une façon approximative par des artifices de construction.

Un cas particulier où cette condition serait rigoureusement remplie et où, de plus, on aurait à toutes charges $M = 0$ serait très intéressant, d'abord, pour la proportionnalité et, aussi, parce qu'il n'y aurait pas de correction variable avec

la charge provenant de $M \neq 0$ dans l'emploi de l'appareil en courant alternatif.

Le dispositif ci-après réalise ces deux conditions :

L'équipage mobile à fil fin a la forme d'un cadre rectangulaire D , il est pivoté entre pierres et la position d'équilibre ainsi que le couple de torsion sont assurés par deux ressorts spiraux bandés l'un contre l'autre. Ces ressorts sont attachés, d'une part, à l'axe et, d'autre part, à un point fixe du socle. Cet équipage porte une aiguille A mobile sur un cadran divisé en parties égales E .

Le circuit à gros fil S (circuit des ampères du wattmètre) porte un enroulement à forte section et les deux extrémités du circuit aboutissent à deux bagues sur lesquelles frottent deux balais. Ce circuit n'est pas fixe; on peut le faire tourner à la main à l'aide d'une manette autour de l'axe de rotation du circuit D ; il porte un index I .

On procède ainsi : l'appareil étant mis en service, on amène l'index I en regard de l'aiguille A . On lit alors l'angle de déviation de A sur le cadran, soit α .

La coïncidence entre l'aiguille A et l'index peut être assurée de façon grossière. Si α est l'angle d'écart entre ces deux index, le coefficient d'induction mutuelle est de la forme

$$M = M_0 \sin \alpha,$$

(l'index A étant perpendiculaire au plan d'enroulement de D , l'index I dans le plan d'enroulement de S).

Le couple électrodynamique est donc de la forme

$$K M_0 \cos \alpha + K M_0 \left(1 - \frac{\alpha^2}{2}\right).$$

Pour des angles d'écart de 5° à 6° d'un côté ou de l'autre,

ce couple variera de $\frac{1}{200}$ de sa valeur moyenne.

En résumé, ce dispositif et cette façon d'opérer présentent les avantages suivants :

1° M nul à toutes charges (pas de correction en courant alternatif);

2° Proportionnalité rigoureuse;

3° L'intervention de l'opérateur se borne à faire tourner des pièces massives bien centrées; il n'y a donc pas d'oscillations à craindre : on n'agit pas sur les points d'attache des ressorts;

4° En cas de régime légèrement variable, l'opérateur peut ne pas intervenir puisqu'on peut tolérer pour α une amplitude de 10° à 12° ;

5° L'emploi de l'instrument peut s'admettre jusqu'à des angles de près de 360° (au moins trois fois l'amplitude de la graduation des appareils à lecture directe).

Comparaison entre les types principaux d'isolateurs à suspension d'après les conclusions récentes de la technique (1).

L'auteur examine, en particulier, les deux types classiques d'isolateurs à suspension, isolateurs à capot et isolateurs Hewlett, et, accessoirement, les isolateurs à double capot et les isolateurs tubulaires à cloches, ces derniers étant

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 27 mars 1922, t. CLXXIV, p. 866-868.

(1) W. WICKER, E. T. Z., 22 et 29 décembre 1921, t. XLII, p. 1 473-1 478 et 1 508-1 511, 7 500 mots, 35 fig.

employés, quant à présent, à peu près exclusivement, comme isolateurs d'arrêt. Il laisse de côté, de propos délibéré, les isolateurs dits « sans scellement » pour cette raison, d'abord, qu'ils ne diffèrent point, dans le principe, de ceux ressortissant à la première et à la troisième des classes d'isolateurs déjà mentionnées et, ensuite, parce que l'on ne possède pas de résultats concluants au sujet de la façon dont ils sont susceptibles de se comporter dans un service réel.

La comparaison entre les isolateurs du type défini ci-dessus est conduite systématiquement, appuyée sur les résultats d'essais consignés dans de nombreux graphiques et illustrée par quelques figures en photographies et en se plaçant à une série de points de vue distincts dont le choix a été dicté par des considérations ayant trait à l'utilisation pratique du genre de matériel envisagé.

1. FORME EXTERIEURE DES ISOLATEURS. — La forme en assiette aplatie (fig. 1) est celle qui est maintenant acceptée d'une façon générale; elle a subi, avec succès, les épreuves de l'expérience et on a été conduit finalement à l'adopter, égale-

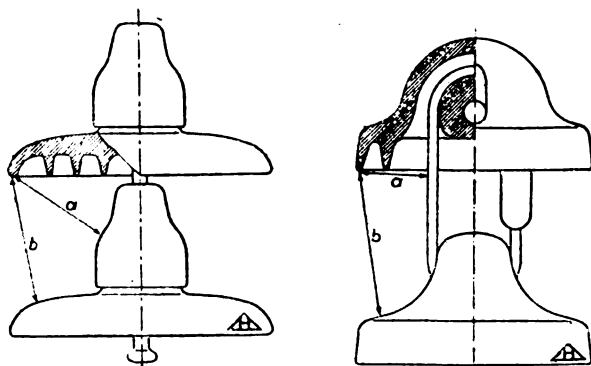


Fig. 1. Voies offertes à la décharge dans les chaînes d'isolateurs à capot. — Fig. 2. Voies offertes à la décharge dans les chaînes d'isolateurs Hewlett connectés par câbles à brins parallèles.

ment, pour les isolateurs Hewlett. Elle présente cet avantage de permettre de monter les chaînes avec une distance minimum entre éléments successifs, tout en conservant à la tension d'amorçage de base une valeur relativement élevée.

Le but à rechercher consiste, en tout cas, à obtenir que la décharge s'effectue suivant une trajectoire située entièrement en dehors de la chaîne au lieu de se propager d'élément en élément. Avec un isolateur à capot, le résultat désiré est atteint normalement à sec; pour qu'il soit réalisé, sous pluie, alors que la surface supérieure de l'isolateur est complètement mouillée, il importe que le diamètre soit calculé largement de manière que la distance d'éclatement utile a (fig. 1) soit la plus grande possible comparativement à la distance séparant le rebord de l'isolateur supérieur du capot de l'isolateur inférieur; les expériences ont d'ailleurs montré que le diamètre de 280 mm, actuellement usité en Allemagne pour ce genre d'isolateur, était, au point de vue mentionné, pleinement suffisant.

Pour les isolateurs Hewlett (fig. 2), dans lesquels la distance a est comparativement plus faible et la distance b comparativement plus grande que dans le cas de l'isolateur à capot, avec les dimensions et les intervalles de montage habituellement employés, la décharge, sous pluie d'eau de canalisation de ville, suit les éléments en succession; mais il n'en est plus de même lorsque l'on opère avec la pluie

naturelle, l'eau de précipitation possédant, dans ce cas, une résistivité beaucoup plus élevée, 30 000 à 50 000 ohms-cm au lieu de 4 400 ohms-cm pour l'eau de distribution; la décharge éclate en dehors de la chaîne, de même que pour les isolateurs à capot. Des essais entrepris aux usines de la Fabrique de Porcelaine d'Hermisdorf (1) ont en outre montré qu'une augmentation du diamètre des isolateurs Hewlett de 250 mm à 300 mm relève sensiblement les valeurs de la tension d'amorçage de l'arc qui atteignent des chiffres analogues, et peut être même plus favorables, que ceux observés avec des isolateurs à capot de 280 mm de diamètre.

2. DISTANCE DE MONTAGE ENTRE ÉLÉMENTS SUCCESSIFS. —

Dans le cas d'isolateurs à capot, une distance de montage entre éléments successifs de 170 mm environ apparaît, en pratique, la plus avantageuse. Les variations de cette distance influent d'une façon notable sur la grandeur de la tension d'amorçage de base; une augmentation, favorable en principe à ce point de vue, risque « au delà d'un certain chiffre » d'affecter d'une façon fâcheuse la forme de la décharge; une réduction importante, d'autre part, qui n'est nullement nécessaire pour assurer la formation de l'arc en dehors de la chaîne, puisque la décharge se produit généralement, sous cette forme, à la distance normale de 170 mm, ne semble pas non plus désirable, en raison de l'abaissement de la valeur de la tension d'amorçage de l'arc qui en résulte.

On pourrait en conclure que les faibles distances (descendant jusqu'à 120 mm) usitées en Amérique pour ce genre d'isolateurs et qui ne peuvent être obtenues qu'en donnant à la tête de ces derniers une forme angulaire, ne sont point avantageuses. Il convient de noter cependant, que, suivant les idées reçues, une telle pratique doit avoir pour effet de réaliser une certaine protection des éléments individuels au point de vue électrique.

Dans le cas des isolateurs Hewlett, pour lesquels la décharge, ainsi qu'il a été expliqué plus haut, a une tendance caractérisée à suivre les éléments successifs, la distance de montage n'exerce qu'une influence assez peu marquée sur la tension d'amorçage de l'arc qui reste sensiblement constante au delà d'une distance entre éléments de 200 mm. La valeur de cette tension, qui est comparativement plus faible avec ce type d'isolateur, en raison de la petitesse relative de l'intervalle séparant le rebord extrême de l'isolateur supérieur du câble de connexion (fig. 2), peut être relevée, dans la proportion de 15 pour 100 environ, en croisant les brins du câble ainsi qu'il est indiqué dans la figure 3; on a représenté, sur la même figure, un modèle de connecteur à coquilles, établi en deux pièces interchangeables, d'un montage facile et qui a été placé sur le marché, où abondent, d'ailleurs, quantité d'autres systèmes imaginés pour le même but, par la Fabrique de Porcelaine Hermisdorf et Freiberg.

Le mode de connexion par brins de câble croisés, dont l'emploi ne peut qu'être recommandé pour la suspension courante, n'offre plus le même intérêt lorsqu'il s'agit d'isolateurs constituant des chaînes destinées à l'amarrage. Dans ce cas, en effet, les isolateurs étant montés dans une position inclinée, leur surface, sous pluie, se trouve entièrement mouillée et le croisement des brins, quant à ce qui a trait à l'augmentation de l'intervalle utile d'éclatement, peut être considéré comme n'ayant plus aucun objet.

En même temps, la résistance mécanique limite de la chaîne, qui dépend, comme on le sait, non de la résistance

(1) La plupart des essais dont il sera question dans cette étude ont été exécutés aux usines de la Fabrique de Porcelaine Hermisdorf et Freiberg. — N. D. L. R.

propre de la porcelaine, mais de celle du câble de connexion, est réduite d'une façon appréciable, du fait de l'obliquité de la direction dans laquelle s'exerce l'effort de traction. Pour ces motifs, il conviendra de recourir, pour les amarrages de lignes, au système de connexion usuel à brins de câble parallèles.

L'observation faite plus haut, au sujet des caractéristiques défavorables présentées, sous pluie, par les isolateurs Hew-

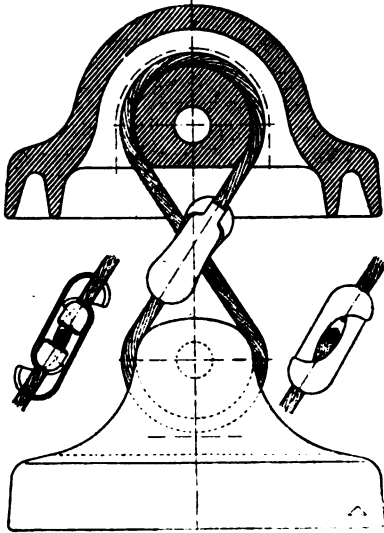


Fig. 3. — Connecteurs à coquilles pour compléter la liaison entre isolateurs Hewlett, réalisée à l'aide de câbles à brins croisés.

lett, utilisés comme isolateurs d'arrêt, s'applique à tous les genres d'isolateurs. Il doit être fait exception, toutefois, pour l'isolateur tubulaire à cloches (fig. 4), qui peut être monté verticalement, dans sa position normale, et qui, protégé excellentement contre la pluie, offre des garanties de sécurité par-

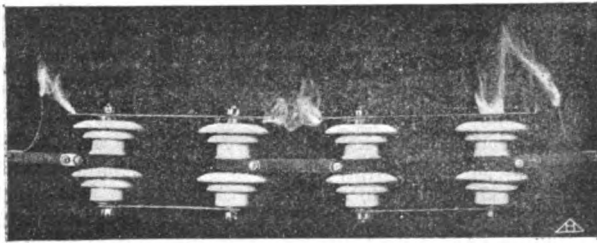


Fig. 4. — Décharge par arc éclatant entre les armatures d'isolateurs d'arrêt, en dehors des isolateurs, sous pluie et à la tension de 110 kv.

ticulières contre les effets destructeurs provoqués par la chaleur dégagée par l'arc de décharge. Ceci est vrai, notamment, si la distance entre les divers éléments est choisie assez faible pour que la décharge s'effectue directement, d'armature à armature, sans intéresser la surface des cloches.

3. GARANTIES DE SÉCURITÉ CONTRE LES EFFETS DESTRUCTEURS DE L'ARC DE DÉCHARGE. — On peut dire, d'une façon générale, que les garanties offertes, à ce point de vue, par les différents types d'isolateurs, sont d'autant meilleures que les

décharges peuvent être maintenues plus sûrement à l'écart de la porcelaine constituant lesdits isolateurs. Cette condition, ainsi qu'il a été expliqué déjà, est remplie plus complètement avec les isolateurs à capot qu'avec les isolateurs Hewlett. Avec les premiers, il est facile, par l'adjonction de cornes de forme et de dimensions appropriées, insérées à la base et, quelquefois également, à l'extrémité inférieure des chaînes, d'obtenir, dans tous les cas, que l'arc suive une trajectoire entièrement en dehors des isolateurs.

Suivant l'opinion communément répandue, le même dispositif n'est point applicable ou est loin de présenter la même efficacité dans le cas des isolateurs Hewlett, avec lesquels il est nécessaire, eu égard aux valeurs plus basses de la tension d'amorçage de l'arc, de disposer les cornes à un intervalle beaucoup plus faible. Ces conclusions, toutefois, sont basées sur des résultats d'expériences effectuées sous pluie d'eau de canalisation de ville, plus ou moins bonne conductrice, et pour des précipitations de durée prolongée. Dans le cas de la pluie naturelle et de précipitations de courte durée, au contraire, les deux types d'isolateurs se comportent d'une façon assez peu différente. Les valeurs basses de tension d'amorçage de l'arc, pour les chaînes d'isolateurs Hewlett, ne sont observées, du reste, qu'après des décharges répétées; les premières décharges passent, très vraisemblablement, en dehors des chaînes, en suivant les cornes; ceci est vrai, en particulier, dans le cas où les perturbations sont provoquées par des ondes de choc, pour lesquelles les tensions d'amorçage de l'arc à sec et sous pluie sont sensiblement les mêmes.

Toutes ces considérations conduisent à admettre, à l'encontre de l'opinion généralement accréditée, que l'emploi de cornes de protection contre les effets destructeurs de l'arc, avec les isolateurs Hewlett, est parfaitement possible et que, si l'on tient compte, en outre, de l'influence favorable résultant de la présence d'un tel dispositif sur la répartition de la tension le long de longues chaînes (ainsi qu'il sera montré plus loin), les applications du genre envisagé apparaissent pleinement justifiées.

Les isolateurs à double capot se comportent d'une façon analogue aux isolateurs à simple capot; leur tension d'amorçage d'arc, toutefois, à diamètre extérieur égal, est diminuée dans la proportion de 10 pour 100 environ, en raison de la réduction de l'intervalle d'éclatement, dû à l'adjonction du second capot.

4. RÉSISTANCE DISRUPTIVE. — A ce point de vue, les isolateurs à capot, plus faciles à fabriquer (étant des solides de révolution), caractérisés par un champ électrique plus uniforme et soumis à un régime de contrainte moins sévère, se montrent d'une façon constante supérieurs aux isolateurs Hewlett. Le type d'isolateur à capot, utilisé sur la transmission à 100 kv Untra-Stockholm, (fig. 5), eu égard à la forme sphérique de sa tête et aux dimensions de sa cavité de scellement, possède une résistance au percement la plus élevée de toutes celles observées avec les différents modèles d'isolateurs connus (tension de 175 kv et même davantage). Les valeurs d'habitude garanties par les fabricants, pour cette résistance (mesurée sous l'huile), correspondent à 130 kv, pour les isolateurs à capot ordinaires et à 90 kv, pour les isolateurs Hewlett. Bien qu'on ait obtenu, à Hermsdorf, des chiffres de 150 à 170 kv pour les premiers, et de 125 kv à 140 kv, pour les seconds, avec, il est vrai, des échantillons de facture irréprochable. Les valeurs les plus favorables de la caractéristique en question peuvent, naturellement, être réalisées, avec des isolateurs à double capot.

On a cherché, à l'aide d'étriers métalliques de construc-

tion spéciale, à diminuer, artificiellement, la tension d'éclatement à sec, de manière à modifier, dans un sens avantageux, la valeur du rapport entre les tensions provoquant la décharge à travers la porcelaine et dans l'air ; ces dispositifs, qui ont, du reste, pour effet de diminuer d'une façon exagée-

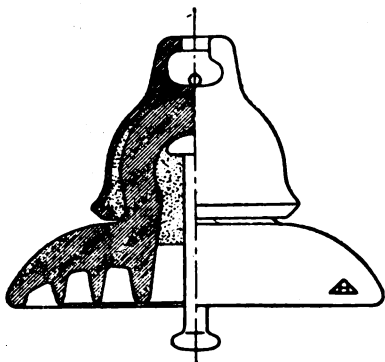


Fig. 5. — Isolateur à capot à tête sphérique (Transmission Untra-Stockholm.)

rée la tension d'amorçage de l'arc par temps de brouillard, n'ont point reçu la sanction de l'expérience, la résistance à la perforation des isolateurs Hewlett ayant été trouvée présenter une valeur pleinement suffisante pour les besoins de la pratique.

5. RÉPARTITION DE LA TENSION. — Cette répartition, qui est conditionnée par la capacité propre des différents éléments et, aussi, par la capacité par rapport à la terre, de leurs armatures métalliques, est nettement plus défavorable dans le cas d'isolateurs Hewlett et d'isolateurs à double capot, possédant une capacité propre comparativement plus faible, que dans le cas d'isolateurs à simple capot. Ce fait apparaît clairement dans la figure 6, dont les courbes représentent, pour différents types d'isolateurs, et, par comparaison, dans l'hypothèse d'une répartition uniforme, la tension appliquée à l'élément inférieur extrême et exprimée en centièmes de la tension totale, dans des chaînes composées d'un nombre d'éléments variable. L'inégalité de la répartition est, comme on le voit, le plus nettement accusée pour les isolateurs Hewlett. Il reste cependant à démontrer si cette inégalité est susceptible de comporter des conséquences fâcheuses, en exploitation réelle, et si, en particulier, elle influe, d'une façon notable, sur la grandeur de la tension d'amorçage de l'arc d'une chaîne déterminée.

Les expériences entreprises à Hermsdorf, dans cet ordre d'idées, n'ont point fait ressortir des différences marquées dans les valeurs des tensions d'amorçage d'arc ni de constater, non plus, des décharges partielles éclatant par-dessus l'élément de la chaîne soumis à la contrainte la plus forte. Il importe, naturellement, de remarquer que, dans les essais de ce genre, effectués à de hautes tensions, la répartition, précisément au voisinage de la valeur critique de la tension d'amorçage de l'arc, s'améliore, automatiquement, par suite de la formation d'effluves, qui ont pour effet d'accroître la capacité propre des éléments soumis aux tensions les plus élevées.

Il résulte, quoi qu'il en soit, des expériences signalées, qu'à l'encontre de l'opinion exprimée, de temps à autre, au sujet de l'inutilité d'employer un nombre d'éléments supérieur à une certaine limite, dans le but d'obtenir des valeurs

plus hautes de tension d'amorçage de l'arc, que la valeur de la tension d'amorçage, sous pluie, croît, effectivement, et à peu près dans la même proportion que le nombre d'éléments composant les chaînes. Cette conclusion est confirmée par des observations faites, en Amérique, sur la forme des décharges, qui s'effectuent sur une trajectoire située entièrement en dehors des éléments, même pour de longues chaînes, et par des résultats d'exploitation prouvant que

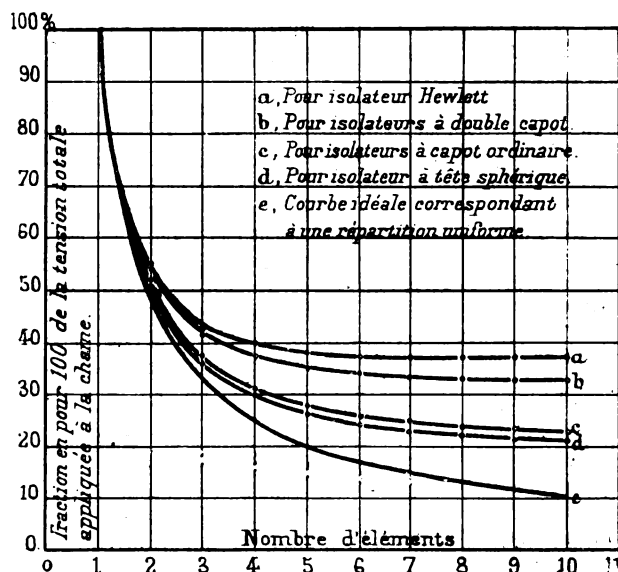


Fig. 6. — Tension appliquée à l'élément voisin de la ligne, et exprimée en centièmes de la tension totale, pour des chaînes d'isolateurs de différents types. (Les résultats consignés dans les courbes ont été obtenus en opérant à des tensions comparativement basses ; pour de hautes tensions, on observe une diminution marquée de la tension appliquée à l'élément inférieur.)

l'élément inférieur extrême n'est pas plus particulièrement exposé que ceux occupant une position plus éloignée de la ligne de transmission.

Il convient d'ajouter, incidemment, qu'une répartition uniforme de la tension ne permet point, comme on le suppose parfois, de réduire le nombre d'éléments constituant les chaînes ; car ce nombre est, en fin de compte, basé sur la valeur de la tension d'amorçage de l'arc, sous pluie, et on a vu que cette valeur était indépendante de la façon dont s'effectue, en service effectif, la répartition de la tension.

Pour les raisons exposées, la question de la gradation et de la compensation des capacités, en vue d'obtenir une répartition de la tension plus uniforme, n'acquiert point une réelle importance, pour des tensions inférieures à 100 kv tout au moins ; comme l'emploi de dispositifs permettant de réaliser ce résultat est susceptible, au contraire, de présenter un certain intérêt pour des tensions supérieures, l'auteur estime utile de passer en revue, à titre documentaire, les différents systèmes proposés pour améliorer les conditions électriques des chaînes, au point de vue envisagé. Il signale, notamment, les dispositifs de gradation des capacités faisant usage d'isolateurs d'épaisseur différente, à tête plus ou moins saillante, à revêtement conducteur s'étendant sur une fraction plus ou moins importante de la surface extérieure de la porcelaine, ou comportant des dispositions d'éléments en parallèle à la base des chaînes ; il en fait la critique et en délimite le champ d'application ; il montre

enfin, à l'aide de graphiques, l'amélioration qu'ils permettent de réaliser dans la répartition de la tension. Il indique, également, que le même résultat peut être atteint en agissant sur le champ électrique, au moyen de cornes de protection, du même genre que celles dont il a été déjà question dans une autre partie du mémoire, ou encore d'anneaux, de préférence de forme elliptique, de manière à ne pas diminuer, outre mesure, l'intervalle entre la ligne et les pylônes. Tous ces dispositifs ont une influence d'autant plus marquée que la répartition originale est plus inégale, et sont d'une application tout particulièrement avantageuse dans le cas des isolateurs Hewlett.

6. RÉSISTANCE MÉCANIQUE. — La résistance à la traction ne joue un rôle réellement important que dans les chaînes destinées à l'amarrage. Avec des isolateurs Hewlett, on réalise, sans difficulté, des résistances de 3 500 à 5 000 kg. Il n'en est de même avec des isolateurs à simple capot, à condition de renoncer à l'emploi de scellements souples qui consistent, comme on le sait, dans l'adjonction, entre le ciment et la porcelaine, d'une substance formant matelas et destinée à absorber les différences de dilatation des divers corps en présence. Si l'on fait usage, comme ciment, de « teleokitt » dont le coefficient de dilatation est le même que celui de la porcelaine, il est possible d'assurer une liaison rigide, sur une partie plane de la tige, et de revêtir le restant de la ferrure d'une couche de matière plastique, sans diminuer la résistance mécanique de l'isolateur. A noter que l'isolateur à double capot peut être établi, de son côté, pour une résistance dépassant 3 000 kg. Mais les meilleures garanties de sécurité, au point de vue mécanique, sont offertes, sans contredit, pour les chaînes d'isolateurs d'arrêt proprement dits (fig. 4) qui, en raison des caractéristiques spéciales résultant de leur système de construction, fournissent, certainement, la solution la plus satisfaisante du problème.

7. DURABILITÉ. PRIX DE REVIENT DES CHAINES. — La bonne conservation des isolateurs est influencée, à un degré marqué, par l'existence de tensions internes qui se développent, soit pendant la fabrication, soit en cours d'exploitation. Ces dernières, qui sont dues à des différences de dilatation, peuvent être évitées en recourant à des procédés de scellement appropriés. Les premières ne sont nullement à craindre dans le cas d'isolateurs à simple capot; on peut être amené à en constater les effets, dans une certaine mesure, avec les isolateurs à double capot, eu égard aux épaisseurs massives de porcelaine comprises entre les deux capots: mais les plus exposés à une destruction prématurée résultant de cette cause sont, incontestablement, les isolateurs Hewlett, en raison, notamment, de la répartition dyssymétrique de la matière qui caractérise leur mode de construction.

La comparaison des prix de revient fait ressortir les avantages, au point de vue économique, de l'isolateur à capot ordinaire; le coût des chaînes complètes (pour un nombre moyen d'éléments) est, en effet, de 10 à 20 pour 100 plus élevé dans le cas des isolateurs Hewlett et des isolateurs à double capot que pour les isolateurs du premier type.

8. MONTAGE. — Le montage et le remplacement en cas d'avarie des éléments, sont, certainement, le moins facile

dans le cas des isolateurs Hewlett. Les chaînes, constituées avec des éléments de ce dernier type, sont, en outre, sensiblement plus longues. Il est possible, toutefois, en recourant à des systèmes de connexions appropriés, de diminuer cette longueur, jusqu'à se rapprocher des dimensions ordinairement usitées avec les isolateurs à capot. Il est possible d'aller encore plus loin, dans la même voie, en employant, au lieu de câbles souples, des sortes d'étriers en métal massif, pour relier entre eux les divers éléments; mais ce mode de connexion, auquel on reproche de soumettre les isolateurs à un régime de contrainte mécanique défavorable, n'a rencontré, jusqu'ici, aucune faveur, en Allemagne.

RÉSUMÉ. — Infériorité quasi générale, théoriquement tout au moins, de l'isolateur Hewlett, par rapport à l'isolateur à simple capot, infériorité partielle du même type d'isolateur par rapport à l'isolateur à double capot, telles sont les conclusions d'ensemble qui résultent, à première vue, de l'étude à laquelle on vient de se livrer. Les causes principales de cette infériorité sont en résumé: résistance disruptive et tension d'amorçage de l'arc sous pluie, plus faibles; capacité spécifique moindre, se traduisant par une répartition de la tension plus inégale; risques de fusion pour les câbles de connexion; distance verticale entre éléments quelque peu plus grande et montage plus compliqué.

Une autre question se pose, cependant, c'est celle de savoir si les désavantages théoriques signalés se trouvent, effectivement, confirmés par les observations faites en service réel. Les résultats recueillis, en exploitation, permettent de répondre d'une façon très nette qu'il n'en est point ainsi et qu'on ne saurait, en bonne justice, continuer à manifester de la défiance, au sujet de l'isolateur Hewlett. Il convient, de noter, à cet égard, que la plupart des difficultés auxquelles ce type d'isolateur a donné lieu ont pu être surmontées, à peu près complètement, en recourant à des mesures ou à des dispositifs appropriés (accroissement du diamètre extérieur, croisement des brins de câble de connexion, emploi de cornes de protection contre les effets destructeurs de l'arc, etc.). Il n'est point possible, toutefois, de prévoir, dès à présent, la façon dont se comportera le même isolateur, pour de très hautes tensions, supérieures à 100 kv.

On a fait valoir en faveur de l'isolateur Hewlett qu'il ne nécessitait pas de scellement comme l'isolateur à capot et n'était point exposé, en conséquence, comme celui-ci à se fissurer en service. On doit reconnaître, cependant, que, depuis que des perfectionnements d'ordre essentiel ont été apportés à la fabrication de ce dernier type d'isolateur, l'objection du genre indiqué formulée à son endroit ne repose plus sur aucun fondement.

A côté des deux modèles d'isolateurs ci-dessus, l'isolateur à double capot mérite, lui aussi, une mention à laquelle ses titres présents lui donnent encore plus droit que par le passé.

Quoi qu'il en soit des appréciations actuellement portées sur les différentes formes d'isolateurs qui sont l'objet de discussions passionnées, l'avenir seul est capable de nous faire connaître laquelle d'entre elles est susceptible de recevoir, d'une façon durable, la sanction de la pratique.

L. D.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Un office de liaison entre inventeurs et industriels

L'auteur, invoquant la création de l'Office de Liaison entre Artistes et Industriels, propose la création d'un office analogue entre inventeurs et industriels.

Dans sa conférence retentissante, faite à la Sorbonne à la fin de l'an dernier, M. G. Claude, proclamant la nécessité d'une union étroite entre la science et l'industrie, conviait les industriels à rechercher la collaboration des savants, des techniciens, des inventeurs de toute catégorie. Ce faisant, il répondait au vœu des plus éclairés parmi les chefs d'entreprise; il attirait l'attention sur une évidence, que dans un domaine tout voisin, dans les rapports entre les créateurs de la forme et les industriels, le Ministère du Commerce a déjà sanctionné par une organisation effective.

Il existe, en effet, depuis le décret du 30 juin 1920, un Office de Liaison entre Artistes et Industriels, dont M. Dubret a été nommé directeur et qui fonctionne depuis cette époque.

Cet organisme, dont l'établissement s'est inspiré de celui du Werkbund allemand, qui a donné dans ce pays les résultats des plus remarquables, n'est pas l'imitation servile de l'organisme étranger; il entend réaliser, selon nos méthodes et nos mœurs, la création d'un centre désintéressé, impartial, ne s'inféodant à aucune école spéciale ou doctrine déterminée; il a pour objet le rapprochement pratique de tous les intéressés.

Parmi ces derniers, viennent en première ligne les artistes créateurs de modèles et les industriels éditeurs d'œuvres des arts appliqués.

I. L'Office de Liaison entre Artistes et Industriels. — L'Office a tout d'abord pour but de faciliter la diffusion des projets d'œuvres d'art appliqué, techniquement réalisables et ayant un caractère artistique de nature à intéresser la clientèle française et étrangère. L'Office demande aux artistes des références professionnelles et artistiques sous forme de photographies d'œuvres déjà réalisées ou de projets, permettant de les mettre en contact avec les industriels éditeurs, qui, à la vue de ces documents, seront mis à même de choisir le genre et la spécialité technique de l'artiste créateur dont ils pourraient souhaiter la collaboration.

L'Office collectionne tous les éléments et les renseignements de nature à rendre féconde et pratique la collaboration nécessaire entre les créateurs de modèles et les industriels éditeurs des œuvres.

En possession de cette documentation, il s'efforce de diriger utilement les recherches des commerçants ou

des particuliers qui désirent prendre contact, soit avec des artistes capables de leur préparer des objets spéciaux, soit avec des industriels outillés pour leur fournir des éléments de transactions commerciales.

Au point de vue moral, l'Office, par son désintéressement assurant une garantie de discrétion et de compétence aux intéressés, cherche à établir entre les intéressés des rapports plus sûrs et plus familiers, que de simples rapports d'affaires, rapports de nature à détruire un certain nombre de préjugés et de malentendus qui trop longtemps en France séparèrent fâcheusement les artistes et les industriels.

L'Office a été momentanément adjoint au Commissariat général de l'Exposition des Arts décoratifs et industriels modernes, prévue pour 1924, le ministre ayant estimé que l'Office avait là une occasion de démontrer par les faits l'excellence et la portée bienfaisante de son organisation.

En dehors de ce centre d'informations et de liaison, l'Office est également qualifié, sans pour cela s'ingérer dans les transactions qui s'effectueront entre les intéressés, à fournir les indications sur la meilleure forme à donner aux conventions à passer entre les contractants et sur les modes de protection des modèles en France et à l'étranger.

L'Office a, d'ores et déjà, établi un répertoire de fiches contenant des renseignements sur les artistes actuellement connus comme créateurs de modèles artistiques pour les arts appliqués.

Ces renseignements généraux sont à peu près complétés ou corrigés par les intéressés eux-mêmes, et sont classés par professions et par ordre alphabétique, de sorte que les artistes et les industriels peuvent, dès maintenant, prendre contact avec le Directeur de l'Office pour s'assurer que celui-ci possède bien tous les renseignements de nature à servir leurs intérêts.

A l'heure actuelle, l'Office a établi 2150 fiches d'artistes, il a envoyé 2800 circulaires avec questionnaires aux artistes, pour faciliter le classement des renseignements par professions.

Assisté de sa commission consultative, l'Office a établi, en vue de l'Exposition de 1924, une classification par groupes et par classes.

Il a réuni des feuilles de conventions actuellement en usage pour l'établissement des contrats d'édition à

passer entre le créateur de modèles et l'industriel éditeur.

L'Office a provoqué, en outre, la constitution d'ateliers spéciaux réunissant par affinité des créateurs de modèles techniques divers en vue de préparer des projets d'ensembles réalisés en collaboration, plus spécialement en vue de la prochaine Exposition.

Le directeur de l'Office a commencé un certain nombre de visites de propagande pour aviser les présidents de chambres syndicales et leur faire part de l'utilité de l'organisme créé par le ministre.

Le directeur, qui continue ses démarches, a d'ores et déjà obtenu l'assurance du vif intérêt que les présidents de ces organisations professionnelles portent à l'organisme officiel qui vient de se créer.

L'Office s'efforce de multiplier ces prises de contact et est en mesure d'effectuer dans les grands centres provinciaux la propagande nécessaire.

Cette propagande, qui rentre dans le domaine d'action de l'Office, doit notamment s'effectuer par des conférences qui permettront de développer, mieux que par correspondance, la portée considérable que peut et doit prendre l'organisme récemment créé.

L'Office collaborera utilement, grâce aux informations artistiques et techniques qu'il possède déjà, à un bulletin de l'Exposition actuellement à l'étude.

Dans l'avenir l'Office, ayant démontré l'utilité de son rôle à l'occasion de l'Exposition, possédera son bulletin spécial, assurant la liaison entre tous les milieux intéressés.

Ainsi, grâce au concours et à la collaboration de tous les intéressés, cet organisme sera mis en mesure de leur rendre des services importants sans recherches compliquées, et sans contribution financière.

II. La Direction des Recherches scientifiques et des Inventions et le futur office à créer —

Prenant comme exemple l'organisation sus visée, ne serait-il pas possible de créer un office analogue, pour faciliter l'application de l'idée proclamée, avec l'autorité qu'il attache à toutes ses manifestations, par G. Claude ?

Rien n'empêche, il semble, de créer, sur le même modèle un office de liaison entre inventeurs et industriels !

Cet organisme pourrait coexister, sans gêne et sans confusion, à côté de la Direction des Recherches scientifiques et industrielles et des Inventions, installée depuis la guerre à Bellevue, 1, avenue du Général-Gallieni. Il pourrait mieux encore l'absorber ou la compléter, celle-ci examinant les inventions, comme un Patent-Office sans prétention, fonctionnant sans charges financières disproportionnées et l'Office proprement dit, qui ne constituerait qu'une seconde sec-

tion, agissant comme agence de placement auprès des industriels.

En effet, la Direction des Recherches scientifiques et industrielles et des Inventions a un objet déterminé mais insuffisant, qu'il serait utile de compléter par l'organisation de l'office de liaison envisagé.

La Direction des Recherches scientifiques n'est jusqu'ici qu'une agence de renseignements et d'études.

Elle examine les propositions des inventeurs qui lui sont soumises et avise les auteurs des propositions du résultat de cet examen ; elle s'efforce de donner toute suite utile aux propositions reconnues intéressantes, par exemple en fournissant aux auteurs les moyens d'action nécessaires pour réaliser leurs projets ; en faisant étudier, construire et essayer dans ses services et ateliers un premier modèle ; en faisant connaître, s'il y a lieu, les propositions intéressantes aux services de l'Etat ; en publiant, si les auteurs le désirent, des articles dans son Bulletin, etc...

Elle étudie les problèmes qui lui sont signalés par les services de l'Etat, par les organismes scientifiques ou industriels, par les laboratoires et les particuliers. Elle provoque, s'il y a lieu, des recherches, travaux ou essais relatifs à ces problèmes dans les laboratoires scientifiques ou industriels les plus qualifiés, et fait face à ces travaux par des subventions ou des crédits.

Elle aide, par tous les moyens possibles, les études ou travaux utiles au progrès et au développement de l'industrie et des connaissances scientifiques générales.

Chaque jour les services de la Direction reçoivent les inventeurs et les renseignements. D'autre part, le Secrétariat de la Commission supérieure des Inventions, rattachée à la Commission des Inventions, est désormais installé à l'Hôtel des Invalides, 2, corridor de Metz, où les inventeurs continuent à être reçus comme antérieurement.

La Commission examine et donne son avis sur toutes les propositions d'inventions qui lui sont soumises.

Si un office de liaison était appelé à compléter l'organisme de recherches et de vérifications, quels services ces administrations, de caractère pratique, ne pourraient-elles pas rendre aux savants, aux inventeurs de toute catégorie, en leur facilitant la mise au point de leurs découvertes, en les renseignant sur la valeur de celles-ci, et en leur indiquant à qui s'adresser pour en tenter, avec le maximum de chances, l'exploitation !

Nous soumettons ces idées aux intéressés et aux pouvoirs publics.

FERNAND-JACQ,
Docteur en droit, Avocat à la
Cour d'Appel de Paris.

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Arrêt de la Cour de Cassation concernant la recevabilité d'une requête civile.

Au sujet d'un pourvoi formé par M. B... contre un arrêt de la Cour d'Appel de Nîmes du 16 février 1921, rendu au profit de M. L., la Chambre des Requêtes de la Cour de Cassation, dans son audience du 14 février 1922, a décidé :

1° La recevabilité de la requête civile fondée sur ce que la décision visée a été rendue sur pièce fautive est subordonnée, comme au cas de dol personnel, à cette condition essentielle que la pièce arguée de faux ait été la cause déterminante de la décision.

2° La condamnation à une amende de 300 fr et à 150 fr de dommages-intérêts, « sans préjudice de plus amples dommages-intérêts s'il y a lieu » constitue une sanction que la loi attache expressément au rejet de la requête civile.

3° La constatation par le juge de la témérité du plaideur, du préjudice subi et la fixation de ces dommages-intérêts relèvent du pouvoir souverain des juges du fond et échappent au contrôle de la Cour de Cassation.

Arrêt de la Cour de Cassation concernant l'application des relèvements des tarifs de vente de l'énergie électrique.

Dans son audience du 1^{er} février 1922, la Chambre civile de la Cour de Cassation, présidée par M. Sarraut, a rendu l'arrêt suivant dans une affaire entre une société de distribution d'énergie électrique et un abonné.

La Cour.

Où en l'audience publique de ce jour M. le conseiller Lombard, rapporteur, M^r Boivin-Champeaux, avocat, en ses observations, M. Blondel, avocat général, en ses conclusions, et après en avoir immédiatement délibéré conformément à la loi :

Donne défaut contre de Bar et statuant au fond ;

Sur la première branche du moyen unique ;

Vu l'article 23 du Code de procédure civile ;

Attendu que l'inexécution d'une convention entre les parties ne peut donner lieu à l'action possessoire, que celui qui se plaint de cette inexécution ne peut agir que par l'action personnelle ou réelle, selon les cas, pour contraindre le défendeur à exécuter la convention ;

Attendu qu'en vertu d'un contrat passé avec la Société Eschapasse et Lalou, concessionnaire de la distribution d'énergie électrique dans la commune d'Argentat, un courant électrique avait été mis à la disposition de de Bar ; qu'un nouveau tarif ayant imposé aux abonnés un minimum de consommation fixé à 120 fr par an, de Bar refusa de renouveler sa police d'abonnement arrivée à expiration en se soumettant à cette condition, qu'après une sommation l'avertissant des conséquences de son refus, le courant fut interrompu ;

Attendu que de Bar a assigné la société devant le juge de paix à fin « d'être réintégré dans la libre jouissance de son droit d'user de l'énergie électrique dont il n'avait cessé d'être

en possession paisible et publique depuis le 11 décembre 1906 » ; que le jugement attaqué, confirmant la décision du juge de paix, a déclaré son action en réintégration recevable et fondée ;

Mais, attendu que le litige, au lieu de porter sur une simple question de possession, soumettait à l'examen du juge l'étendue et la mesure des droits respectifs conférés aux parties par le contrat d'abonnement qui réglait leurs rapports ; qu'il touchait aussi au fond du droit et que, dans ces circonstances, il n'y avait pas lieu à l'exercice d'une action possessoire ;

Attendu qu'en statuant comme il l'a fait, le jugement attaqué a faussement appliqué le texte susvisé ;

Par ces motifs.

Et sans qu'il y ait lieu de statuer sur les autres branches du moyen.

Casse et annule le jugement rendu entre les parties par le Tribunal civil de Tulle le 1^{er} mars 1918, et renvoie devant le Tribunal de Brive.

Arrêt de la Cour de Cassation concernant le compromis d'arbitrage.

Dans un arrêt rendu le 14 février 1922 au sujet d'un pourvoi formé par M. B... contre un arrêt de la Cour d'Appel de Nîmes, du 14 février 1921, rendu au profit de M. L..., la Chambre des requêtes de la Cour de Cassation vient de décider :

1° Que la partie qui, volontairement, s'est abstenue de faire présenter son arbitre devant le tiers arbitre sur la sommation régulière qui lui avait été donnée à cet effet par ce dernier, conformément au paragraphe premier de l'article 1018 du Code de procédure civile, ne peut soutenir que les droits de sa défense ont été violés, puisqu'il avait toute faculté de faire valoir ses droits.

2° Qu'aucun texte n'impose au tiers arbitre l'obligation, à peine de nullité, de ne pas recevoir les explications que pourrait avoir à lui présenter l'arbitre qui, seul, s'est réuni à lui sur cette sommation, alors que ledit tiers arbitre a statué seul et s'est borné à adopter purement et simplement l'un des avis des autres arbitres, se conformant ainsi aux prescriptions du paragraphe 2 de l'article 1018 précité.

Arrêt de la Cour de Cassation concernant la servitude de passage.

La Chambre civile de la Cour de Cassation, présidée par M. Sarrut, premier président, a décidé, par un arrêt du 8 février 1922, concernant un jugement du 5 décembre 1913 du Tribunal civil de Coulommiers, rendu au profit de Mlle L... contre Mlle G..., que :

La servitude de passage étant discontinuée ne peut donner lieu à l'action possessoire qu'à condition d'être exercée en vertu d'un titre. Un titre légal résulte de l'état d'enclave ; mais il est anéanti par la cessation de cet état de fait, à moins que l'assiette et le mode d'exercice du passage pour cause d'enclave n'aient été déterminés par trente ans d'usage

continu. Par suite, le juge saisi de l'action possessoire est tenu de vérifier, au point de vue de la précarité de la possession invoquée, si l'enclave existait encore au moment du trouble allégué, et, dans le cas contraire, si la possession avait duré pendant un temps suffisant pour prescrire.

Décret instituant une commission interministérielle chargée d'établir un programme de la distribution de l'énergie électrique dans les campagnes.

Le « Journal officiel du 28 mars 1922 publie, p. 3 365-3 366, un rapport des ministres de l'Agriculture, de l'Intérieur, des Finances, des Travaux publics concluant à la nécessité d'instituer une commission interministérielle chargée d'établir un programme général de la distribution d'énergie électrique dans les campagnes et de rechercher les combinaisons financières propres à en permettre l'exécution.

Ce rapport est suivi du décret suivant, en date du 25 mars 1922 :

ARTICLE PREMIER. — Une commission interministérielle est instituée au Ministère de l'Agriculture à l'effet d'établir un programme d'ensemble de la distribution de l'énergie électrique dans les communes rurales et de rechercher les combinaisons financières propres à assurer son application.

Cette commission pourra, du reste, donner son avis sur toutes les questions relatives à l'établissement et au fonctionnement des réseaux ruraux de l'énergie électrique.

ART. 2. — Cette commission est composée de vingt-quatre membres, savoir :

Le ministre de l'Agriculture, président.

Trois sénateurs, six députés.

Un membre désigné par le ministre de l'Intérieur.

Quatre membres désignés par le ministre des Finances.

Quatre membres désignés par le ministre des Travaux publics.

Quatre membres désignés par le ministre de l'Agriculture.

Le directeur général de l'Office national du Crédit agricole.

Les fonctions de secrétaires seront remplies par le chef de bureau du Génie rural au Ministère de l'Agriculture et par un ingénieur du Génie rural.

ART. 3. — Les membres de la commission seront nommés par arrêté pris par les ministres intéressés ⁽¹⁾.

ART. 4. — Le ministre de l'Intérieur, le ministre des Finances, le ministre des Travaux publics et le ministre de l'Agriculture sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 25 mars 1922.

Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux.

Le « Journal officiel » du 15 mars 1922 publie, page 795 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », les questions et réponses suivantes :

12 438. — M. Taittinger, député, demande à M. le ministre des Finances si un contribuable qui a entièrement payé le solde de ses bénéfices supplémentaires jusqu'au 30 juin 1920 et à qui on réclame les impôts sur les bénéfices commerciaux et industriels des années 1918-1919 et 1919-1920 jusqu'au 30 juin également, est en droit de déduire des sommes réclamées les 80 pour 100 qu'il a payés sur bénéfices supplémen-

taires et qu'il n'a pu défalquer lors de ses déclarations antérieures, ne connaissent pas à cette époque les chiffres qu'il aurait à payer (les rôles en effet, ayant été seulement publiés en 1921 (Question du 14 février 1922).

Réponse. — Les bénéfices réalisés par les commerçants et les industriels passibles de la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre ne doivent être retenus, pour l'assiette de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux, que sous déduction de la fraction desdits bénéfices prélevée par l'Etat au titre de la contribution extraordinaire et les instructions nécessaires ont été données pour que la déduction dont il s'agit soit opérée d'office. Si toutefois, par suite d'une erreur matérielle, le contribuable visé dans la question n'a pas bénéficié de cette déduction, il lui suffira, pour obtenir le dégrèvement auquel il a droit, de signaler son cas à l'administration.

12 587. — M. Barthe député, expose à M. le ministre des Finances qu'un commerçant est tenu de justifier, par un livre de débit, de son chiffre d'affaires, et demande si ce commerçant est dans l'obligation de fournir aux agents du contrôle justification du prix coûtant de chacun des articles déjà vendus, étant entendu que le bilan de fin d'année a déjà été examiné (Question du 21 février 1922).

Réponse. — L'article 66 de la loi du 25 juin 1920 impose aux redevables de l'impôt sur le chiffre d'affaires, qui ne tiennent pas une comptabilité permettant de déterminer leur chiffre d'affaires, l'obligation d'avoir un livre spécial sur lequel ils inscrivent, jour par jour, chacune des ventes qu'ils ont effectuées. Et le dernier alinéa du même article stipule que ce livre spécial, ou la comptabilité en tenant lieu, ainsi que les pièces justificatives des opérations effectuées par les redevables, notamment les factures d'achat, devront être conservées pendant un délai de trois ans. D'autre part, aux termes de l'article 67 de la même loi modifiée par l'article 28 de la loi du 31 décembre 1921, les redevables sont tenus de fournir toutes justifications nécessaires à la fixation de leur chiffre d'affaires. Il résulte de la combinaison de ces textes que les commerçants peuvent être requis de justifier de l'importance et du prix tant des ventes que des achats qu'ils ont réalisés.

Sur le timbrage des pouvoirs de représentation aux assemblées générales.

Le « Journal officiel » du 1^{er} mars 1922 publie, p. 582 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse qui suivent :

12 434. — M. Georges Aimond, député, expose à M. le ministre des Finances qu'il est d'usage d'envoyer aux actionnaires, membres des assemblées générales des sociétés anonymes, des pouvoirs que ceux-ci retournent aux sociétés en vue de se faire représenter à ces assemblées, et demande : 1^o si ces pouvoirs doivent être établis sur feuilles de papier timbré à 2 fr avant apposition de la signature de l'actionnaire, ou bien s'ils peuvent être établis sur des feuilles de papier libre, qu'on peut faire ensuite timbrer après la signature de l'actionnaire ; 2^o pourquoi certains bureaux d'enregistrement accordent le timbrage, alors que d'autres le refusent et infligent des amendes. (Question du 14 février 1922.)

Réponse. — 1^o Les formules destinées à la rédaction des pouvoirs donnés par les actionnaires des sociétés anonymes doivent être soumises au timbrage à l'extraordinaire ou revêtues de timbres mobiles de dimension avant d'être utilisées, c'est-à-dire avant d'être remplies et signées ; 2^o en l'état actuel de la législation, les receveurs de l'enregistrement qui timbrent sans amende les formules déjà utilisées qui leur sont présentées, perdent de vue les obligations qui leur incombent et engagent ainsi leur responsabilité.

(1) Cet arrêté a été signalé dans le « Bulletin R. G. E. » du 8 avril 1922, t. XI, p. 111 B.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 17.

29 AVRIL 1922.

Chronique. — Les séances et l'exposition de Pâques de la Société française de Physique. — Bibliographie : Traité d'Électricité industrielle, par Hector PÉCHEUX, p. 601-602.

Section scientifique et technique. — Essai d'une théorie générale des diagrammes vectoriels en électricité (*suite*), par Léon OTS-CHEVALIER, p. 603. — Remarques sur la détermination des transformateurs spéciaux de relais pour interrupteur, par R. MAYEUR, p. 611. — Revues, analyses et informations : Abaques auxiliaires pour le calcul des lignes, p. 615; Etude sur la résistance des antennes d'émission, p. 617; Etude sur l'entretien simultané d'un circuit oscillant et de circuits harmoniques, p. 621; Auto-corrosion de la fonte de fer et de divers métaux dans les sols alcalins, p. 621; Influence des dimensions d'un aimant permanent sur son coefficient de température, p. 622.

Section industrielle. — Note sur les tarifs de vente de l'énergie électrique, par Maurice KÉCHLIN, p. 623. — A propos d'abaques pour le calcul des garanties des transformateurs, par L. DUBAR, p. 628. — Revues, analyses et informations : Le fonctionnement du tube modulateur en radiotéléphonie, p. 630; La détermination de la hauteur des aubes des turbines à vapeur, p. 632; Un potentiomètre à courant alternatif par tube à vide, p. 634.

Section économique et financière. — Le droit du concessionnaire de se faire rembourser les branchements extérieurs, arrêt de la Chambre des Requêtes, 8 mars 1922, par Paul BOUGAULT, p. 635. — Assemblées générales : Société générale pour favoriser le développement du Commerce et de l'Industrie en France, p. 638; Société mutuelle électrique d'Assurances, p. 638.

Section de législation. — Le privilège du Trésor sur les immeubles pour la récupération des taxes sur les bénéfices de guerre, par FERNAND-JACQ, p. 639.

Les séances et l'exposition de Pâques de la Société française de Physique. — Suivant les traditions d'avant guerre, d'ailleurs déjà renouées l'an dernier, la Société française de Physique a, pendant la semaine qui vient de s'écouler, tenu deux séances extraordinaires et organisé une exposition ainsi qu'une visite d'usine.

La première séance eut lieu le mercredi 19 avril à 10 h 30, dans l'amphithéâtre de Physique de la Faculté des Sciences; elle fut consacrée à une conférence de M. Pierre Weiss, professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg, sur l'*Institut de Physique de Strasbourg et la Section de Strasbourg de la Société française de Physique*. Le conférencier y a décrit les ressources de cet Institut et rappelé que, en vue d'y développer un centre intellectuel de recherches sur la physique, les professeurs ont créé à Strasbourg une section de la Société française de Physique qui, comme celle-ci, tient deux séances par mois.

La seconde séance fut tenue le lendemain, dans le même amphithéâtre; le savant anglais, Sir E. RUTHERFORD, membre de la Royal Society, y fit une conférence sur la *désintégration artificielle des éléments*. Après quelques généralités sur la constitution de l'atome et après avoir rappelé que les particules α sont capables, en raison de l'énergie cinétique que leur confère leur

vitesse d'environ 16 000 km/s, de modifier la structure nucléaire de l'atome, il décrit les expériences qu'il a faites pour utiliser cette propriété⁽¹⁾; voici les conclusions qu'en tire l'auteur.

Maintes fois la formation d'hélium dans un tube de décharge a été signalée, et il a été suggéré que l'hélium pouvait être un produit de la transformation des électrodes lors des décharges électriques intenses. Les expériences les plus remarquables dans cet ordre d'idées ont été faites par Collie, mais des recherches plus précises faites par Strutt n'ont pas confirmé ses conclusions. Il est extrêmement difficile de prouver que la formation d'hélium n'est pas due à son occlusion dans les électrodes et à sa libération sous l'action de la chaleur intense de la décharge. Des observations analogues ont été faites sur la libération continue d'hydrogène par les électrodes. Winchester, qui a minutieusement examiné ce phénomène avec des électrodes d'aluminium mince, a trouvé que la libération d'hydrogène durait jusqu'à destruction complète des électrodes. Il est très difficile de croire que l'hydrogène est un produit de transformation de l'aluminium, quand on songe à la grande quantité d'énergie que doit posséder une particule α pour l'effectuer. Comme dans le cas de l'hélium, il semble plus probable que l'hydrogène était initialement occlus dans les électrodes.

(1) Voir à ce propos l'analyse d'un mémoire : La désintégration artificielle des éléments légers, de E. RUTHERFORD et J. CHADWICK, publiée dans *R. G. E.*, 4 mars 1922, t. XI, p. 311-312.

Bien qu'il soit dangereux d'être dogmatique sur ces points, tout porte à croire que les atomes sont de structure si stable et que les noyaux sont assemblés par des forces si puissantes que seules les sources d'énergie aussi concentrées que les particules α sont susceptibles de réussir dans l'attaque de leur structure si bien protégée. Même quand une désintégration se produit, cela n'a lieu que sur une échelle minime, et seules quelques particules α sur un million sont efficaces. Mais, si nous avions des atomes chargés contenant dix fois l'énergie de la particule α du radium, nous pourrions probablement pénétrer la structure nucléaire de tous les atomes et même parfois les désintégrer.

L'exposition organisée dans les salles de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, 44, rue de Rennes, rassemblait les appareils de physique des modèles les plus récents de nos principaux constructeurs, et initiait les visiteurs à quelques-unes des expériences décrites au cours de l'année dans les séances de la Société de Physique. Parmi les constructeurs d'appareils concernant l'électricité signalons : Arnoux, V^e Chauvin et C^e, Ch. Beaudoin, Carpentier, British Scientific Apparatus Manufacturers, Drault et Raulot-Lapointe, E. Roger, Société des Accumulateurs électriques (anciens établissements Alfred Dinin), Société indépendante de Télégraphie sans fil, etc ; nous décrirons prochainement quelques-uns de ces appareils. Signalons aussi la maison Jobin qui présentait de fort beaux modèles de photomètres et de spectrophotomètres de haute précision.

La visite prévue était celle du Centre radioélectrique de Sainte-Assise, de la Compagnie générale de Télégraphie sans fil ; elle eut lieu dans l'après-midi du vendredi 21 avril.

Ce centre radioélectrique, situé près de Melun, comprend actuellement : 1° une petite station dont la puissance dans l'antenne est d'environ 2 kw et qui assure le service des communications avec Londres ; 2° une station dite « continentale » utilisant dans l'antenne une puissance de 100 kw, qui est actuellement terminée et ne tardera pas à entrer en service ; 3° une station dite « transcontinentale » dont la construction est très avancée et qui permettra d'utiliser dans l'antenne une puissance de 1 500 kw fournie par deux alternateurs de 500 kw et deux alternateurs de 250 kw.

Nous espérons pouvoir donner à bref délai une description complète de ces diverses stations.

Bibliographie : *Traité d'Electricité Industrielle*, t. I et II, par Hector PÉCHERX, docteur ès sciences physiques, sous-directeur, censeur des études à l'Ecole nationale d'Arts et Métiers de Lille (1). — Le tome I de cet ouvrage, qui a pour

(1) Tome premier, un volume format 25 cm \times 17 cm, de 834 pages, 588 figures. Édité par la librairie Delagrave, 15, rue Soufflot, Paris. Prix : 58 fr.

Tome deuxième, un volume format 25 cm \times 17 cm, de 376 pages, 206 figures. Même éditeur que ci-dessus. Prix : 25 fr.

sous-titre : *Etude des courants électriques continus*, est rédigé conformément aux nouveaux programmes projetés de l'enseignement de l'électricité dans les Ecoles nationales d'Arts et Métiers ; il comporte, outre les matières des programmes, des compléments sur la construction et le projet des machines, et leurs essais.

Il traite des notions d'électrostatique, utiles à connaître vu leur utilisation dans quelques cas de l'électrodynamique : des lois fondamentales du courant continu ; de la génération et de l'utilisation de ces courants (piles hydroélectriques ou thermoélectriques, accumulateurs hydroélectriques ; dynamos, moteurs, distribution et canalisation, transport d'énergie, éclairage et chauffage électriques, électrochimie et électrometallurgie), et des applications industrielles diverses des courants continus (aux bobines d'induction, aux appareils de haute fréquence, à la télégraphie ou à la téléphonie, avec fil ou sans fil).

Sans entrer dans des développements aussi considérables que ceux que fournissent les instituts électrotechniques supérieurs, l'auteur a cependant cru nécessaire de traiter avec une ampleur suffisante les questions qui permettront à tous ses lecteurs — en particulier aux élèves des Ecoles d'Arts et Métiers — d'acquérir une culture générale appréciable, et de bien comprendre le fonctionnement et l'entretien, la construction au besoin, des diverses machines à courant continu.

Les lois du courant, leurs applications industrielles (accompagnées de nombreux exercices pratiques) sont développées avec toute la clarté désirable et en tenant compte des perfectionnements les plus récents de la science électrique.

Le tome II a pour sous-titre : *Etude des courants alternatifs*. Une première édition de cet ouvrage avait déjà paru en 1918. L'édition présente, revue et augmentée, répond aux nouveaux programmes d'enseignement dans nos Ecoles d'Arts et Métiers ; mais elle renferme des développements supplémentaires.

Dans les première et deuxième parties, l'auteur traite des courants sinusoïdaux et non sinusoïdaux, et emploie, concurremment avec la méthode analytique, la méthode des vecteurs qui illustre l'étude des phénomènes et la rend plus claire, tout en réduisant au minimum les difficultés qu'offre l'étude purement analytique. Les grandeurs caractéristiques (forces électromotrices, intensités des courants) sont calculées à l'aide des figures des ondes périodiques fournies par l'expérience.

De plus, l'auteur y expose certains calculs (circuits dérivés, force électromotrice des alternateurs, puissances), par des méthodes originales ; de nombreux exercices pratiques sont calculés sur les formules trouvées.

L'application des propriétés et des formules exposées aux première et deuxième parties, aux alternateurs, récepteurs (moteurs, appareils d'éclairage électrique), à la distribution de l'énergie (directe ou indirecte, par transformateurs), constitue la troisième partie.

La quatrième partie, qui est nouvelle, traite spécialement des machines industrielles et de leurs applications : alternateurs, moteurs, transformateurs, outillage et traction, éclairage et chauffage, électrometallurgie ; elle étudie les courants de haute fréquence en vue de leur application à la radiotélégraphie ; elle emploie le plus souvent la méthode graphique et expose les types les plus récents de machines.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Essai d'une théorie générale des diagrammes vectoriels
en électricité (Suite) (1)

C. DES FONCTIONS DE COURANTS

I. Généralités. — Nous désignerons sous l'expression générale de fonctions de courants d'une machine : les pertes par effet Joule, les puissances et les couples relatifs aux circuits de cette machine.

Ce sont des fonctions algébriques de la variable considérée, w par exemple. Nous les représenterons en général, par le symbole f et, en particulier, lorsqu'il s'agit de pertes par effet Joule par p , de puissances absorbées par t , de puissances utiles par u , de couples par c , etc...

Soit I (Fig. 9) l'un quelconque des diagrammes de

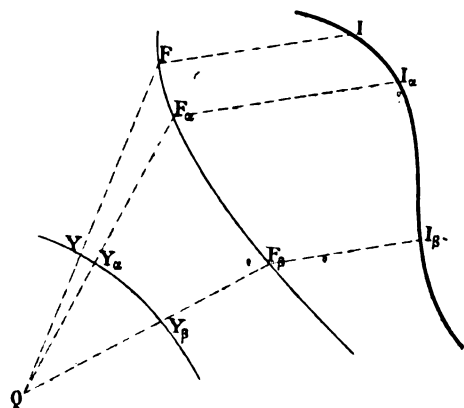


Fig. 9. — Caractéristique et son échelle.

courant de la machine considérée, donné par la formule.

$$I = \frac{A_0 + A_1 w_1 + \dots + A_m w_m}{B_0 + B_1 w_1 + \dots + B_n w_n} \equiv \frac{A' + jA''}{B' + jB''} \quad (42)$$

Le problème qui fait l'objet de ce chapitre consiste à déterminer une courbe $F(P, T, U, C)$, (fig. 9), que nous appellerons : *caractéristique*. Elle est définie par le fait que les distances comprises entre cette caractéristique $F(P, T, U, C)$ et le diagramme I , mesurent la fonction de courant $f(p, t, u, c)$ envisagée. Ces distances

sont mesurées à une certaine échelle suivant une direction déterminée à partir du point I du diagramme correspondant à la même valeur de la variable. Ainsi, à un point I_a de I (fig. 9) correspond, suivant une direction déterminée, une distance $I_a F_a$ qui mesure la valeur f_a de f correspondant à $w = \alpha$.

1. FORME DES FONCTIONS DE COURANTS. — Considérons successivement les trois cas principaux spécifiés dans la définition de ces fonctions.

1° Pertes par effet Joule (en puissance) p . — Soit g un circuit quelconque de la machine, dont le courant est donné par une expression de la forme :

$$I_g = \frac{G_0 + G_1 w + \dots + G_g w^g}{B_0 + B_1 w + \dots + B_n w^n} \equiv \frac{G' + jG''}{B' + jB''} \quad (43)$$

ayant le même dénominateur que I (42).

La perte par effet Joule p (due à une résistance R de ce circuit vaudra :

$$p_g = R I_g^2 = R \frac{G'^2 + G''^2}{B'^2 + B''^2} \equiv \frac{p(2g)}{b(2n)}$$

La perte p_g est donc donnée par une expression fractionnaire algébrique en w , dont le numérateur $p(2g)$ et le dénominateur $b(2n)$ sont respectivement de degrés $2g$ et $2n$.

Pour un autre circuit h de la machine dont le courant serait donné par

$$I_h = \frac{H_0 + H_1 w + \dots + H_h w^h}{B_0 + B_1 w + \dots + B_n w^n} \equiv \frac{H' + jH''}{B' + jB''} \quad (44)$$

on aurait de même pour l'expression d'une perte par effet Joule

$$p_h = \frac{p(2h)}{b(2n)}$$

Le dénominateur $b(2n)$ est donc toujours le même : il est d'ailleurs égal au carré du module du dénominateur commun des courants.

2° Puissances. *a) Puissances absorbées, t .* — Une force électromotrice de valeur efficace constante E étant supposée appliquée à l'un quelconque g des circuits de la machine, il en résulte une puissance absorbée donnée par la formule

$$t_g = E I_g \cos(E, I_g)$$

(1) R. G. E., 22 avril 1922, t. xi, p. 563-577.

On sait qu'un tel produit est donné par la partie réelle du produit des fonctions imaginaires E et I_g à condition de changer les signes des termes en j dans l'une de ces fonctions. Il vient donc, suivant nos conventions,

$$t_g' = \left(E \frac{G' - jG''}{B' - jB''} \right)' = E \frac{G'B' + G''B''}{B'^2 + B''^2} = \frac{t(g+n)}{b(2n)},$$

expression de même forme que celle du cas précédent.

b) Puissances utiles, u . — Les puissances utiles dues à un ou plusieurs circuits d'une machine peuvent toujours être considérées comme des différences de puissances absorbées et de pertes par effet Joule ⁽¹⁾; ces deux fonctions étant de la même forme, il en sera donc de même de leur différence.

3° Couples, c . — Considérons le couple dû à l'action réciproque de deux circuits quelconques g et h de la machine, traversés par les courants I_g et I_h .

Ce couple s'exprimera par une formule de la forme :

$$c = k I_g I_h \sin(I_g, I_h),$$

et comme, d'après (43) et (44),

$$I_g = \frac{G' + jG''}{B' + jB''} \quad \text{et} \quad I_h = \frac{H' + jH''}{B' + jB''},$$

il vient

$$c = k \frac{G'H' - G''H''}{B'^2 + B''^2} \equiv \frac{c(g+h)}{b(2n)}.$$

Dans le cas d'une machine complexe, le couple utile peut être une somme de couples partiels de la forme de c ⁽²⁾. Comme ils ont tous le même dénominateur $b(2n)$, il en sera donc de même du couple total résultant de la machine.

CONCLUSION. — Les fonctions du courant f sont donc données, dans tous les cas par une expression fractionnaire algébrique en w , dont le numérateur est variable, mais dont le dénominateur, toujours le même, est égal au carré $b(2n)$ du module du dénominateur commun de tous les courants de la machine considérée.

Dans le cas des machines du premier genre, de beaucoup les plus importantes, le degré $2n$ du dénominateur $b(2n)$ est précisément celui des diagrammes de courants; quant au numérateur, on peut vérifier facilement que son degré est au plus égal à celui $2n$ du dénominateur ⁽³⁾ et cela quelque soit la fonction de courant considérée.

Nous pouvons donc, pour les machines du premier

⁽¹⁾ Rappelons que ce sont les seules pertes dont nous tenons compte dans cette étude (t. VII, p. 315).

⁽²⁾ Par exemple, dans le cas des groupes avec moteur en cascade accouplé sur le même arbre que le moteur principal.

⁽³⁾ Ce fait résulte de ce que dans les machines du premier genre les formules des courants ont leurs numérateurs, d'un degré au plus égal à celui n de leur dénominateur commun (p. 564).

genre, écrire d'une façon générale f sous la forme suivante

$$f = \frac{f(2n)}{b(2n)}, \quad (45)$$

dans laquelle le numérateur est au plus de degré $2n$ et peut avoir, ou non, des racines réelles.

2. CARACTÉRISTIQUES. — Suivant la définition que nous en avons donnée, la caractéristique cherchée F est donnée par une formule de la forme

$$F = I - Kf, \quad (46)$$

dans laquelle K représente une fonction imaginaire constante.

Pour préciser la question nous n'examinerons que le cas des machines du premier genre.

Le courant I pourra s'écrire

$$I = \frac{A_0 + A_1 w + \dots + A_n w^n}{b_0 B + B_1 w + \dots + B_n w^n} \equiv \frac{A(2n)}{b(2n)}, \quad (47)$$

Le dénominateur réel $b(2n)$ est le même que celui des fonctions de courants considérées ci-dessus.

Le numérateur imaginaire $A(2n)$ est d'un degré au plus égal à celui $2n$ du dénominateur et il peut avoir des racines.

En remplaçant les valeurs (47) et (45) dans (46), il vient

$$F = \frac{A(2n)}{b(2n)} - K \frac{f(2n)}{b(2n)} = \frac{D(2n)}{b(2n)}.$$

Le degré de la caractéristique F est donc au plus égal à celui $2n$ du diagramme I . Mais elle n'a pas les propriétés particulières des diagrammes ⁽¹⁾.

1° Courbes-échelles. — En vue de simplifier, autant que possible, le tracé de cette caractéristique, il conviendra de choisir convenablement la constante K .

Dans ce but, considérons les valeurs I_α et f_α de I et de f correspondant à une même valeur α quelconque de la variable w .

Nous pouvons écrire

$$\frac{I - I_\alpha}{f - f_\alpha} = \frac{(w - \alpha).H(2n - 1)}{(w - \alpha).h(2n - 1)} = \frac{H(2n - 1)}{h(2n - 1)} \equiv H, \quad (48)$$

car $I - I_\alpha$ et $f - f_\alpha$ ont le même dénominateur et leurs numérateurs sont tous deux divisibles par $w - \alpha$.

Il en résulte que ce rapport H représente une courbe d'un degré au plus égal à $2n - 1$.

Choisissons pour K l'expression d'un point H quelconque de cette courbe H , il vient

$$K \equiv H = \frac{I_\alpha - I_\alpha}{f_\alpha - f_\alpha}. \quad (49)$$

⁽¹⁾ Ainsi les caractéristiques générales des diagrammes circulaires sont des ellipses, courbes qui ne sont guère à envisager comme diagrammes pratiques.

D'autre part, on peut écrire

$$H = H_0 + \varphi(w) \cdot Y(2n-2) = K + \varphi(w) \cdot Y(2n-2), \quad (50)$$

en considérant $Y(2n-2)$ comme parabole-échelle des w de H , $\varphi(w)$ étant alors une fonction algébrique, généralement de forme fractionnaire.

En portant (50) dans (48), il vient

$$\begin{aligned} I - I_a &= (f - f_a) [K + \varphi(w) \cdot Y(2n-2)] \\ &= Kf - Kf_a + \psi(w) \cdot Y(2n-2), \end{aligned}$$

$\psi(w)$ étant une fonction algébrique.

Par suite

$$\begin{aligned} F \equiv I - Kf &= I_a - Kf_a + \psi(w) \cdot Y(2n-2) \\ &= Q + \psi(w) \cdot Y(2n-2), \end{aligned} \quad (51)$$

Q étant une constante et Y une parabole des w . Cette expression montre que la caractéristique F d'une fonction de courants peut toujours se ramener à une courbe ayant, par rapport à un point déterminé Q , une courbe-échelle Y d'un degré inférieur de deux unités à celui du diagramme.

Cette courbe échelle peut d'ailleurs se simplifier encore, dans le cas particulier où le diagramme I possède un point double ($w = \alpha$ et $w = \beta$), pour lequel la fonction f considérée passe deux fois par la même valeur : $f_\alpha = f_\beta$. En effet, en ce cas on peut écrire H sous la forme

$$\begin{aligned} H &\equiv \frac{I - I_a}{f - f_a} = \frac{(w - \alpha)(w - \beta) \cdot H(2n-2)}{(w - \alpha)(w - \beta) \cdot h(2n-2)} = \frac{H(2n-2)}{h(2n-2)} \\ &= K + \varphi(w) \cdot Y(2n-3), \end{aligned}$$

d'où on déduit, par le même raisonnement que ci-dessus,

$$F \equiv I - Kf = Q + \psi(w) \cdot Y(2n-3). \quad (52)$$

Par suite, dans ce cas particulier, la courbe échelle Y de F peut être d'un degré inférieur de trois unités à celui du diagramme.

Comme la fonction f peut toujours s'écrire sous la forme

$$f = f_a + \frac{(f^0 + f'w + f''w^2) \cdot g(2n-2)}{b(2n)},$$

pour satisfaire à la condition précédente, il suffira que I puisse s'écrire sous la forme

$$I = I_a + \frac{(f^0 + f'w + f''w^2) \cdot G(2n-2)}{b(2n)}.$$

On pourrait, au besoin, tracer le diagramme d'une telle valeur I uniquement pour la détermination de F et f même au cas où elle ne correspondrait à aucun des courants de la machine. Mais il se pourrait alors qu'elle ne convienne pas, à ce point de vue, pour les autres fonctions de courants considérées.

Enfin, pour des valeurs exceptionnelles de I , les fonctions Y et F peuvent se ramener à des formules plus simples encore. C'est, par exemple, le cas d'une puissance absorbée relative au courant dont le diagramme est tracé. Y se réduit alors à une constante et F , à une droite.

En effet, nous avons vu qu'une telle puissance relative au courant

$$I = \frac{A' + jA''}{B' + jB''} = \frac{(A'B' + A''B'') + j(A''B' - A'B'')}{B'^2 + B''^2},$$

peut s'écrire

$$t = \frac{E(A'B' + A''B'')}{B'^2 + B''^2}.$$

Il en résulte que nous pouvons choisir comme caractéristique celle donnée par la formule

$$T = I - \frac{1}{E}t = j \frac{A''B' - A'B''}{B'^2 + B''^2},$$

c'est-à-dire l'axe des courants réactifs, l'axe horizontal des coordonnées dans nos figures.

2° Point de rayonnement Q . — Le point de rayonnement Q des courbes-échelles Y est, d'après (51), le point F_a de la caractéristique F , il vient donc

$$\begin{aligned} Q = F_a &= I_a - Kf_a = I_a - \frac{I_a - I_a}{f_a - f_a} f_a \\ &= \frac{I_a f_\beta - I_\beta f_a}{f_\beta - f_a} = F_\beta. \end{aligned} \quad (53)$$

$Q = F_a = F_\beta$ correspondent donc à un point double de la caractéristique F .

Dans le cas particulier où I_a est un point double du diagramme pour lequel f passe les deux fois par la même valeur $f_a = f_\beta$, on a

$$Q = F_a = F_\beta = F_\gamma.$$

En ce cas, Q définit un point triple de la caractéristique.

PROPRIÉTÉ. — Lorsque les caractéristiques de deux fonctions f' et f'' ont le même point de rayonnement Q , ce dernier pourra être choisi comme point de rayonnement des caractéristiques de toutes les fonctions de la forme $k'f' + k''f''$, k' et k'' étant des constantes réelles quelconques.

En effet, le point de rayonnement Q commun à f' et f'' peut être donné par des formules telles que (53)

$$Q = \frac{I_a f'_\gamma - I_\gamma f'_a}{f'_\gamma - f'_a} = \frac{I_a f''_\gamma - I_\gamma f''_a}{f''_\gamma - f''_a}, \quad (54)$$

d'où résulte la relation

$$\frac{f'_a}{f'_\gamma} = \frac{f''_a}{f''_\gamma}. \quad (55)$$

Réciproquement, deux fonctions f' et f'' qui satisfont à la relation (53), vérifient l'égalité (54) et pourront avoir un point de rayonnement commun Q.

Or, lorsque la relation (55) est satisfaite, elle peut s'étendre comme suit.

$$\begin{aligned}\frac{f'_a}{f'_\gamma} &= \frac{f''_a}{f''_\gamma} = \frac{k'f'_a + k''f''_a}{k'f'_\gamma + k''f''_\gamma} \\ &= \frac{(k'f' + k''f'')_a}{(k'f' + k''f'')_\gamma},\end{aligned}$$

c'est-à-dire que f' , f'' et $k'f' + k''f''$ peuvent avoir le même point de rayonnement Q.

En particulier, lorsque des caractéristiques de puissances absorbées et utiles d'une machine ont le même point de rayonnement, celui-ci pourra être choisi également pour la caractéristique de leur différence, c'est-à-dire des pertes.

3° Constante K . — La constante K est donnée par la formule (49)

$$K = \frac{I_\gamma - I_\alpha}{f'_\gamma - f'_\alpha}.$$

Sa grandeur se détermine le plus facilement en pratique, lorsque la caractéristique F est tracée, par la connaissance de la valeur de f correspondant à un point quelconque du diagramme,

Il est commode d'avoir, autant que possible, la même constante K pour différentes fonctions. Celles-ci se mesurent alors sur une même droite, partant du point considéré du diagramme et à la même échelle de sorte que leurs grandeurs sont directement comparables.

Soient deux fonctions f' et f'' ayant une même constante K ; il vient, si on la rapporte aux mêmes courants I_α et I_γ ,

$$K = \frac{I_\gamma - I_\alpha}{f'_\gamma - f'_\alpha} = \frac{I_\gamma - I_\alpha}{f''_\gamma - f''_\alpha}.$$

Pour qu'il en soit ainsi, il suffit donc que l'on ait

$$f'_\gamma - f'_\alpha = f''_\gamma - f''_\alpha,$$

ou bien

$$f'_\gamma - f''_\gamma = f'_\alpha - f''_\alpha,$$

c'est-à-dire, que la fonction $f' - f''$ ait la même valeur en I_γ et en I_α .

Les puissances absorbées et utiles, et les pertes d'une machine, sont liées entre elles par une relation telle que

$$t - u = p.$$

Chacune de ces fonctions peut donc être considérée (au signe près) comme la différence des deux autres. Il en résulte qu'on pourra les mesurer toutes trois à la même échelle et sur une même droite, si l'on choisit, pour I_α et I_γ , des points du diagramme pour lesquels

l'une ou l'autre de ces fonctions t , u ou p , a des valeurs égales.

II. Diagrammes circulaires. — Dans le cas des diagrammes circulaires, la formule (51) devient

$$F = F_\alpha + \psi(w) \cdot Y(0),$$

c'est-à-dire que Y se réduit à une constante et F à une droite. Donc : Toute caractéristique d'un diagramme circulaire peut se ramener à une droite (1).

Cette droite est d'ailleurs unique ainsi que cela résulte de la détermination ci-après. Quant à la direction de la constante K , elle est quelconque.

La fonction f considérée est de la forme générale

$$f = \frac{f^0 + f'w + f''w^2}{b_0 + b_1w + b_2w^2}. \quad (56)$$

a) Lorsque le numérateur de (56) a deux racines δ et θ , c'est que f s'annule pour les points I_δ et I_θ correspondants. La caractéristique F doit nécessairement passer par ces points (fig. 10) et puisqu'elle est droite, elle

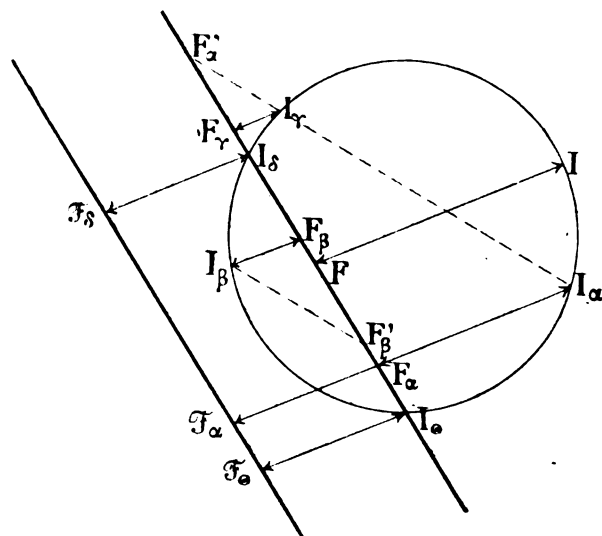


Fig. 10. — Caractéristiques des diagrammes circulaires. Cas général.

est donc unique et d'ailleurs parfaitement déterminée par les points I_δ et I_θ , quand ils sont connus.

b) Lorsque le numérateur de f (56) a deux racines égales, c'est que la caractéristique droite F cherchée est la tangente en I au diagramme.

c) Lorsque le numérateur de f (56) n'a pas de racines réelles, soit f la valeur de f correspondant à un point I quelconque, on pourra écrire f sous la forme

$$f = f_s + \frac{f''(w - \delta)(w - \theta)}{b_0 + b_1w + b_2w^2},$$

(1) Cette droite est une ellipse aplatie.

il en résulte que f aura la même valeur f en un autre point I_3 du diagramme. La caractéristique \mathcal{F} cherchée sera donc une parallèle à la droite $I_1 I_2$ (fig. 10). Soit I_3 un autre point du diagramme pour lequel on connaît la valeur f_3 de f . Cette valeur pourra se mesurer par une droite $I_3 \mathcal{F}_3$ de direction quelconque, ce qui détermine la valeur de la constante K d'après l'égalité

$$I_3 \mathcal{F}_3 = K \cdot f_3. \quad (57)$$

Cela étant, la parallèle $I \mathcal{F}$ mesurera f d'après

$$I_3 \mathcal{F}_3 = K \cdot f_3.$$

De ces égalités, on peut déduire que

$$I_3 \mathcal{F}_3 = F_3 \mathcal{F}_3 = \frac{I_2 \mathcal{F}_2 - I_1 \mathcal{F}_1}{f_2 - f_1} f_3 = I_2 F_2 \frac{f_2 - f_1}{f_3}.$$

Comme le dernier membre de ces égalités est parfaitement déterminé, il en sera de même des premiers, c'est-à-dire que la distance $F_3 \mathcal{F}_3$, et par suite la caractéristique \mathcal{F} elle-même, est bien déterminée et unique.

Lorsque les points I et I_0 , pour lesquels f s'annule ou passe par une même valeur, ne sont pas connus, on pourra déterminer F et K , pourvu que l'on connaisse les valeurs f_1, f_2 et f_3 de la fonction f , correspondant à trois points quelconques I_1, I_2 et I_3 du diagramme. En effet, de la formule (49), on déduit que l'on peut prendre pour K la valeur particulière.

$$K_1 = \frac{I_2 - I_1}{f_2 - f_1}.$$

Ce K_1 est ainsi déterminé en grandeur, et sa direction est donnée par la droite $I_2 I_1$ joignant les points I_2 et I_1 (fig. 10).

Suivant cette direction, on pourra déterminer le point F'_1 de F puisque

$$I_2 F'_1 = K_1 \cdot f_2 = \frac{I_2 - I_1}{f_2 - f_1} f_2. \quad (58)$$

De même, suivant une parallèle à cette direction, tracée à partir de I_3 , on pourra déterminer le point F'_3 de F puisque

$$I_3 F'_3 = K_1 \cdot f_3.$$

Les points F'_1 et F'_3 de F déterminent donc cette caractéristique. Celle-ci étant tracée, on pourra déterminer les valeurs de f des autres points du diagramme par des parallèles à K_1 ; mais, si on le préfère, on pourra choisir toute autre direction, telle que celle K employée ci-dessus.

Cette construction est absolument générale et s'applique également au cas où la caractéristique ne coupe pas le diagramme.

Toutefois, en pratique, on préférera, autant que possible, tracer celles des caractéristiques qui coupent le diagramme par la détermination de ces points d'inter-

section et les autres caractéristiques, en utilisant la propriété suivante, qui n'est que l'application aux diagrammes circulaires de la propriété générale de la page 605.

PROPRIÉTÉ. — *Les caractéristiques droites de toutes les fonctions de la forme $k'f' + k''f''$ se coupent en un même point* ⁽¹⁾.

En effet, toutes les fonctions de la forme Kf ont la même caractéristique, quelle que soit la valeur de K et, d'autre part, tout point d'une caractéristique droite peut être choisi comme point de rayonnement.

Il en résulte que, d'après la propriété générale, le point de rencontre Q des deux caractéristiques droites de f' et f'' est un point de rayonnement commun à toutes les caractéristiques des fonctions de la forme $k'f' + k''f''$. Celles-ci y passent donc.

Considérons, par exemple (fig. 11), les trois caractéristiques T , U et P des puissances absorbée, utile et des pertes: elles se coupent en un même point Q .

Il en résulte que, si l'on connaît le point de rencontre de T et de U , par exemple, il suffira, pour déterminer P , d'en connaître soit un autre point, soit sa direction.

En particulier, cette direction pourra être déterminée soit par la connaissance de deux des points du diagramme pour lesquels la fonction considérée passe par une même valeur, soit par celle de la tangente au point pour lequel la fonction est minimum ou maxi-

⁽¹⁾ Voici une démonstration directe de cette propriété. Soient F_1 et F_2 les caractéristiques droites des fonctions f' et f'' , qui se coupent en Q . Elles peuvent s'écrire sous la forme

$$F_1 = I - K_1 f' = Q + \psi_1(w), Y_1 \\ F_2 = I - K_2 f'' = Q + \psi_2(w), Y_2,$$

formules dans lesquelles Y_1 et Y_2 sont des constantes imaginaires. Nous pouvons choisir la même direction pour K_1 et K_2 ; dans ce cas, on vérifie facilement que l'on peut choisir

$$\psi_2(w) = \psi_1(w) \equiv \psi(w)$$

Cela étant, additionnons ces deux formules après les avoir multipliées respectivement par

$$\frac{k'K_2}{k'K_2 + k''K_1}$$

et

$$\frac{k''K_1}{k'K_2 + k''K_1}$$

il vient

$$\frac{k'K_2 F_1 + k''K_1 F_2}{k'K_2 + k''K_1} = I - \frac{k_1 K_2}{k'K_2 + k''K_1} (k'f' + k''f'') \\ = Q + \psi(w) \frac{k'K_2 Y_1 + k''K_1 Y_2}{k'K_2 + k''K_1},$$

dont la forme générale est

$$F = I - K(k'f' + k''f'') = Q + \psi(w), Y.$$

Ce qui vérifie la propriété énoncée.

mum, soit par tout autre procédé dépendant des conditions pratiques du problème ⁽¹⁾.

D'ailleurs, pour pouvoir mesurer ces fonctions à la même échelle et sur une même droite (p. 606), il suffira que celle-ci soit parallèle à l'une des trois caractéristiques. Car une telle parallèle coupe le diagramme

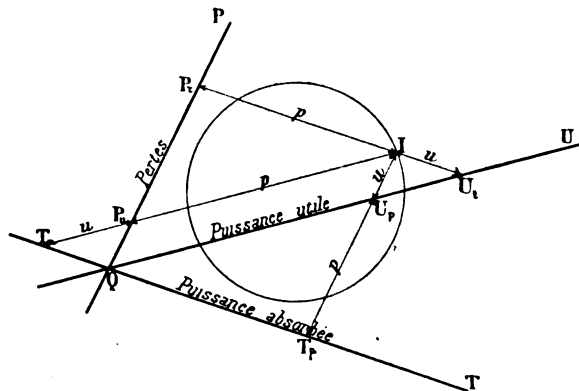


Fig. 11. — Caractéristiques des diagrammes circulaires — Mesures à la même échelle.

en des points pour lesquels la fonction correspondante a des valeurs égales ⁽²⁾.

Ainsi donc, (fig. 11), sur la parallèle IT_p à la caractéristique P , on mesure à la même échelle $IT_p = I$, $IU_p = u$ et, par suite, leur différence $U_p T_p = p$. De même sur la parallèle IT_u à U , ces fonctions se mesurent par IT_u , $P_u T_u$ et IP_u , et sur la parallèle IP_t à T par $P_t U_t$, IU_t et IP_t . Et, dans chacun des trois cas, à une même échelle pour les trois fonctions.

III. Diagrammes fermés du quatrième degré.

— D'après ce que nous avons vu, la *courbe-échelle d'une caractéristique du quatrième degré peut toujours se ramener à une courbe du second degré, car* $2n - 2 = 2$.

La détermination de cette courbe dépend essentiellement des formules exprimant le courant I et la fonction f considérée. Elle pourra toujours se faire comme nous l'avons vu pour le cas général.

Nous n'examinerons ici, d'une façon détaillée, que le cas où, pour le point double (ou singulier) du diagramme, la fonction f considérée passe par la même valeur ($f_a = f_s$). D'après ce que nous avons vu (p. 605), dans ce cas, la *courbe-échelle peut se ramener à une droite, car* $2n - 3 = 1$.

Premier procédé ⁽³⁾. — Reprenons la formule (48)

$$\frac{I - I_a}{f - f_a} = H.$$

I_a et f_a étant les valeurs de I et de f correspondant au point double du diagramme.

⁽¹⁾ Voir exemple pratique dans la troisième partie.

⁽²⁾ Puisque ces points sont à la même distance de la caractéristique considérée.

⁽³⁾ Dans le cas de la figure 5, $I_a = 0$ et $I_s = I_0$.

Cette expression H est, en somme, le lieu des valeurs de la constante K . Choisissons, par exemple, celle correspondant à $w = \gamma$ pour laquelle on connaît les valeurs I_γ et f_γ , il vient

$$K \equiv H_\gamma = \frac{I_\gamma - I_a}{f_\gamma - f_a}.$$

Sa direction est celle du vecteur $I_\gamma I_a$ (fig. 5) ⁽¹⁾.

Le point de rayonnement qu'il convient de choisir est le point pour lequel on a $Q = F_a = F_s = F_\gamma$ de la caractéristique F

Or, comme

$$F = I - Kf,$$

il vient

$$Q \equiv F_a = I_a - Kf_a.$$

L'échelle Y de F par rapport à Q étant *rectiligne*, il suffira, pour la déterminer complètement, de connaître les droites rayonnantes QF de trois points (p. 574) de F , dont on connaît les valeurs de w .

Les points F_a et F_γ de F coïncidant avec Q ne peuvent pas être utilisés ⁽²⁾, il convient donc d'en considérer trois autres.

La droite rayonnante QI_a (fig. 5), dont la direction est celle de K , se rapporte au point I_a du diagramme (point différent de $I_\gamma \equiv I_0$) qui se trouve sur cette droite. La valeur correspondante θ de w se mesurera, par l'intermédiaire de Z , en V_θ par exemple. On connaîtra donc ainsi la valeur θ de w de la droite rayonnante $I_a Q I_s$.

Pour en déterminer deux autres, il conviendra de connaître les valeurs f_s et f_γ de deux points I_s et I_γ du diagramme. On pourra alors déterminer les points F_s et F_γ correspondants de la caractéristique et, par suite, les droites rayonnantes QF_s et QF_γ , pour des valeurs s et γ de w que l'on connaît, ou que l'on peut déterminer. Lorsque la chose sera possible, on choisira de préférence pour I_s ou I_γ , le point I_a ⁽³⁾, car la droite rayonnante correspondante QF_a donne directement la *droite-échelle* cherchée, qui lui est simplement parallèle. Sinon, on emploiera la méthode générale donnée page

La droite-échelle Y (fig. 5) étant tracée et bien déterminée, il sera facile de déterminer la valeur de f d'un point quelconque du diagramme. On détermine le point Y de la droite-échelle Y correspondant à la même valeur de la variable, puis on trace la droite YQ ainsi que la parallèle IF à K . Ces droites se coupent au point F de la caractéristique, et la fonction f cherchée sera mesurée par la distance IF .

En résumé, ce procédé graphique permet de déter-

⁽¹⁾ Le tracé de la figure 5 a été fait d'après le deuxième procédé.

⁽²⁾ A moins de déterminer par le calcul, ou autrement, les directions des tangentes en ce point.

⁽³⁾ Dans le cas de la figure 5, on ne le pourrait pas, puisque I_a coïncide avec I_0 .

miner tous les éléments de la question, pourvu que l'on connaisse les valeurs de f correspondant au point double du diagramme tracé et à trois autres points (γ , δ , η), soit au total à cinq points.

Deuxième procédé. — Lorsque l'on connaît les formules de I et de f , il sera généralement plus commode de déterminer ces éléments par le calcul comme nous l'indiquons ci-après :

Les valeurs de I et de f passent au point double ($w = \alpha$ et $w = \beta$) deux fois par les mêmes valeurs I_α et f_α ; leurs formules seront donc de la forme ⁽¹⁾ :

$$I = I_\alpha + \frac{E(w - \alpha)(w - \beta)}{Z^0 + Z'w + Z''w^2} \\ = I_\alpha + \frac{E(w - \alpha)(w - \beta)[Z^0 + Z'w + Z''w^2]}{z(4)} \quad (59)$$

et

$$f = f_\alpha + \frac{E(w - \alpha)(w - \beta)(f^0 + f'w + f''w^2)}{z(4)} \quad (60)$$

En nous reportant à ce que nous avons vu plus haut, nous pouvons écrire successivement les formules suivantes :

$$(18) \quad H \equiv \frac{I - I_\alpha}{f - f_\alpha} = \frac{|Z^0 + Z'w + Z''w^2|}{f^0 + f'w + f''w^2},$$

$$(49) \quad K \equiv H_\gamma = \frac{|Z^0 + Z'\gamma + Z''\gamma^2|}{f^0 + f'\gamma + f''\gamma^2}. \quad (61)$$

$$(53) \quad Q = F_\alpha = I_\alpha - Kf_\alpha = F_\gamma. \quad (62)$$

La droite-échelle Y rapportée au point Q correspond d'après (50) à

$$Y \rightarrow H - H_\gamma = \frac{|Z^0 + Z'w + Z''w^2|}{f^0 + f'w + f''w^2} - \frac{|Z^0 + Z'\gamma + Z''\gamma^2|}{f^0 + f'\gamma + f''\gamma^2} \quad (1),$$

ou à

$$Y \rightarrow |Z'f^0 - Z^0f'| + \gamma|Z'f^0 - Z^0f''| \\ + [|Z'f^0 - Z^0f''| + \gamma|Z'f' - Z''f''|]w, \quad (63)$$

K , Q , et Y , dépendent donc directement de la valeur de γ . Celle-ci pourra être choisie au mieux, suivant les valeurs connues de f , parfois aussi en vue de satisfaire

à certaines conditions ⁽¹⁾, pourvu qu'elle ne soit pas une des deux racines de l'expression algébrique

$$f^0 + f'w + f''w^2,$$

car en ce cas, K et Q , d'après (61) et (62), auraient des valeurs infinies.

En particulier, pour $\gamma = 0$, on aurait, en vecteurs de courant

$$K = \frac{|Z^0|}{f^0}; \quad Q = I_\alpha - |Z^0| \frac{f_\alpha}{f^0} \quad (2); \\ Y \rightarrow |Z'f^0 - Z^0f'| + |Z''f^0 - Z^0f''|w;$$

pour $\gamma = \infty$, on aurait

$$K = \frac{|Z''|}{f''}; \quad Q = I_\alpha - |Z''| \frac{f_\alpha}{f''}; \\ Y \rightarrow |Z'f^0 - Z^0f'| + |Z''f' - Z''f''|w.$$

Les formules ci-dessus, relatives à Y (fig. 5), se rapportent à $Q = H_\gamma$ pris pour origine des vecteurs, ainsi que cela résulte directement des formules (50), (51), (52).

Les droites rayonnantes : QY_0 , QY_1 , QY , rencontrent les parallèles à $K \rightarrow Z^0$, menées par I_0 , I_1 , I aux points F_0 , F_1 , F de la caractéristique. Les distances I_0F_0 , I_1F_1 , IF mesurent les valeurs f_0 , f_1 , f de la fonction considérée à l'échelle $OF_\alpha = f_\alpha = 1$.

On peut déterminer ainsi la valeur IF de f pour un point I quelconque du diagramme, par une construction qui donne le point F de la caractéristique. Celle-ci pourra donc être tracée point par point (fig. 5).

Point F . — Ce tracé n'est évidemment pas nécessaire à la détermination de la valeur de f d'un point donné du diagramme, mais il peut être utile pour déterminer la loi de variation de f et pour préciser les positions de certains points de F , en particulier, de ceux qui sont déterminés par l'intersection de droites sensiblement parallèles.

Généralement la figure sera telle que, pour un des points de la caractéristique, les droites déterminantes sont exactement parallèles ⁽³⁾. Il conviendra, si on désire la connaître, de calculer sa position. Le vecteur de courant qui lui correspond est évidemment parallèle à K , il a donc la direction de I_γ et son extrémité se trouve en I_1 à la seconde intersection de I_γ (I_0 fig. 5) avec le diagramme de courant ⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Voir en particulier : note ⁽³⁾ ci-dessous et page 606.

⁽¹⁾ Rappelons que la figure 5 se rapporte au cas où $I_\alpha = 0$, $\alpha = -0,5$ et $\beta = \infty$.

⁽²⁾ Deux traits verticaux encadrant une expression imaginaire indiquent que son argument doit être pris en signe contraire. Par exemple, si l'on a $A \equiv A' + jA''$, nous pourrions écrire : $|A| \equiv A - jA''$. En d'autres termes, le vecteur d'impédance A est identique au vecteur de courant $|A|$, et réciproquement.

⁽³⁾ La caractéristique représentée figure 5 se rapporte aux valeurs suivantes des coefficients de f : $f_\alpha = f^0 = -f'' = f'' = 1$.

⁽⁴⁾ Le signe \rightarrow indique que le second membre a la même direction que le premier.

⁽²⁾ Pour la figure 5, nous aurons donc en vecteurs d'impédance : $K = Z^0$ et $Q = -Z^0$; d'ailleurs on a choisi $\gamma = 0$ et pour Y (fig. 5) le diagramme d'impédance $Y = -(Z' + Z'') = (Z' - Z'')w$, rapporté à Q pris pour origine.

⁽³⁾ On peut éviter un tel point en choisissant γ de telle façon que I_γ soit tangent au point double ; donc pour $\gamma = \alpha$, ou β .

⁽⁴⁾ Il ne peut y avoir plus de deux points d'intersection, puisque l'origine des vecteurs est le point double du diagramme.

D'après (61), (60), et (59), il vient en vecteur de courant

$$Kf_0 = \frac{Z^0 + Z'\gamma + Z''\gamma^2}{f^0 + f'\gamma + f''\gamma^2} \left[f_0 + \frac{E(1-\alpha)(1-\beta)(f^0 + f'\theta + f''\theta^2)}{z_0(1)} \right] \\ = Kf_0 + (I_0 - I_2) \frac{Z^0 + Z'\gamma + Z''\gamma^2}{Z^0 + Z'\theta + Z''\theta^2} \times \frac{f^0 + f'\theta + f''\theta^2}{f^0 + f'\gamma + f''\gamma^2}.$$

Comme Z'' et Z'' ont la même direction, ces formules peuvent s'écrire :

$$Kf_0 = Kf_0 + (I_0 - I_2) \frac{Z^0 + Z'\gamma + Z''\gamma^2}{Z^0 + Z'\theta + Z''\theta^2} \times \frac{f^0 + f'\theta + f''\theta^2}{f^0 + f'\gamma + f''\gamma^2} \\ = Kf_0 + \frac{(I_0 - I_2)^2}{I_0 - I_2} \times \frac{(\gamma - \alpha)(\gamma - \beta)}{(\theta - \alpha)(\theta - \beta)} \times \frac{f^0 + f'\theta + f''\theta^2}{f^0 + f'\gamma + f''\gamma^2}.$$

Le point F_0 (fig. 5) en résulte directement, puisque

$$F_0 = I_0 - Kf_0 \quad (1).$$

Dans le cas de la figure 15, la caractéristique F coupe le diagramme I en quatre points, mais f ne passe par zéro qu'en deux de ces points I_0 et I_2 .

CARACTÉRISTIQUES DROITES. — La formule (63) montre que, dans le cas où les trois vecteurs d'impédance

$$Z'f^0 - Z^0f', \quad Z''f^0 - Z^0f'' \quad \text{et} \quad Z''f' - Z'f'',$$

sont parallèles, la droite-échelle Y passe par son point de rayonnement Q et se confond avec F , c'est-à-dire que la caractéristique F se ramène à une droite (2). Pour que cette condition soit satisfaite, il faut et il suffit que les trois vecteurs d'impédance

$$\frac{Z^0}{f^0}, \quad \frac{Z'}{f'} \quad \text{et} \quad \frac{Z''}{f''}$$

aient leurs extrémités disposées suivant une même droite.

Dans ces conditions, les valeurs f de la fonction considérée peuvent se mesurer simplement par les distances à Y des points I correspondants du diagramme, tout comme nous l'avons vu pour les diagrammes circulaires.

Ce cas se présente en particulier pour les puissances absorbées, ainsi que nous l'avons vu d'une façon générale (p. 607).

MESURES À LA MÊME ÉCHELLE. — Lorsque l'on doit déterminer trois fonctions de courant f , g , h , qui sont liées entre elles par la formule

$$f = g - h,$$

on pourra s'arranger pour les mesurer à la même échelle, sur une même droite (p. 606), pourvu que l'une de ces

(1) Figure 5, on trouve $\theta = -0,35$, par suite en vecteur de courant, $Kf_0 = Z^0 + 5 \frac{I_0^2}{I_0}$.

(2) De la formule (63), on peut déduire que la caractéristique F pourrait se ramener à une droite, quelles que soient les valeurs de Z^0 , Z' et Z'' pour les valeurs de γ données par l'équation

$$f^0 + f'\gamma + f''\gamma^2 = 0;$$

mais nous avons vu (p. 609) qu'en ce cas, K et Q sont infinis.

fonctions ait la même valeur aux points I_0 et I_2 . Puisque I_2 est déterminé (point double du diagramme), il conviendra donc de choisir pour I_0 un point du diagramme, pour lequel une des fonctions f , g ou h a une valeur égale à celle qu'elle a en I_2 .

Supposons, par exemple, que ce soit le cas pour f c'est-à-dire que, l'on ait

$$f_0 = f_2;$$

il en résulte, d'après (60), que

$$f^0 + f'\gamma + f''\gamma^2 = 0;$$

les valeurs de K et Q correspondant à f sont donc infinies, de sorte que f ne peut se mesurer directement comme nous l'avons vu ci-dessus. Mais les caractéristiques de g et h sont à des distances finies, on pourra donc les tracer et mesurer alors, sur la parallèle à $I_0 I_2$ menée par I_0 , les valeurs de g et de h , et ainsi par différence $f = g - h$, c'est-à-dire que f se mesure par la distance comprise entre les caractéristiques de g et de h .

Ce cas se présente, comme nous l'avons déjà fait remarquer, pour les puissances absorbées et utiles, et pour les pertes correspondantes (1).

CONCLUSIONS. — Les fonctions de courants : puissances, pertes, couples, de toute machine peuvent se mesurer par les distances comprises entre un de ses diagrammes de courants et une courbe appelée caractéristique.

Les caractéristiques des diagrammes de courants circulaires peuvent toujours se ramener à des droites (p. 606). Pour les déterminer complètement, il suffit de connaître les valeurs de la fonction considérée pour trois de points du diagramme (p. 606 et 607). Deux fonctions de même espèce (puissances ou couples), peuvent toujours se mesurer à une même échelle, suivant une direction déterminée (p. 606).

Les caractéristiques des diagrammes fermés du quatrième degré sont des courbes du quatrième degré (1). Mais leur courbe-échelle peut se ramener dans tous les cas au second degré, et dans presque tous les cas au premier degré (droite) (p. 608). Or il suffit de connaître cette courbe-échelle et son point de rayonnement pour pouvoir déterminer toutes les valeurs de la fonction et, si on le désire, pour pouvoir tracer la caractéristique par points (p. 609).

Dans les cas où cette échelle se ramène à une droite, on pourra la déterminer facilement si on connaît : soit la formule de la fonction considérée (p. 608 et 609) soit les valeurs de cette fonction relatives à cinq points déterminés du diagramme (p. 609).

La mesure à la même échelle de deux fonctions de même espèce pourra se faire, suivant une direction déterminée, comme dans le cas des diagrammes circulaires (p. 610).

(1 *suivre.*)

LÉON OTS-CHEVALIER.

(1) Voir exemple d'application dans la troisième partie.

(1) Excepté la caractéristique de la puissance absorbée (relative au circuit dont on a tracé le diagramme), qui est toujours une droite (p. 605).

Remarques sur la détermination des transformateurs spéciaux de relais pour interrupteur

Dans les essais des transformateurs spéciaux dont le secondaire est bobiné sur un anneau ayant même axe qu'une des bornes — laquelle sert de primaire — des interrupteurs auxquels ils sont destinés, on est parfois surpris de l'allure de certaines courbes. Dans cet article, l'auteur s'est proposé d'expliquer ces courbes et d'en tirer des conclusions pratiques.

I. Introduction. — Parmi les nombreux moyens de protection des machines, le plus simple est assurément la coupure immédiate de la ligne. Un système très répandu consiste en un relais déclenché par un transformateur spécial (désigné parfois sous le nom de bushing) et actionnant l'interrupteur dans le cas de surintensité. Ce transformateur est un transformateur d'intensité placé sur l'interrupteur lui-même. Le circuit magnétique est constitué par un anneau feuilleté entourant une borne de l'interrupteur — laquelle joue le rôle de primaire — et sur lequel est bobiné le secondaire (fig. 1).

Il est évident que le nombre de spires sera déterminé à la fois par l'intensité primaire pour laquelle le relais

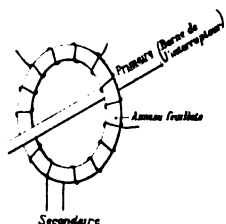


Fig. 1. — Schéma d'un transformateur spécial de relais.

doit fonctionner, et par les constantes (résistance, inductance, courant de déclenchement) du relais.

Généralement, on trace les caractéristiques relatives à différents relais pour des transformateurs dont les nombres de spires sont différents.

Il faut alors tracer de nombreuses courbes, et il n'est pas commode d'interpoler pour un autre type de relais, de sorte qu'on ne peut pas déduire facilement le nombre de spires à mettre sur l'anneau.

Il n'en est pas de même si l'on trace des courbes du courant secondaire — conservant constant le courant primaire — en fonction du nombre de spires. C'est ce que nous avons fait, en utilisant un secondaire à plusieurs prises.

Dans l'étude suivante, nous avons cherché à expliquer l'allure de ces courbes, et cela nous a permis de faire quelques remarques.

Grâce à ces remarques, il est aisé de déduire, avec une certaine précision, les caractéristiques relatives à des relais de constantes différentes ; et il est alors possible de déterminer rapidement le nombre de spires à mettre sur le transformateur.

II. Equation relative au transformateur spécial. — Désignons par : i , la valeur instantanée du courant primaire et par φ_1 , le flux que produirait le primaire s'il était seul ; par n_1 , le nombre de spires du primaire, ici égal à 1 ; par i , u , les valeurs instantanées du courant et de la tension secondaires ; par r , n , v , la résistance, le nombre de spires et le coefficient de fuite du secondaire ; par φ_2 , le flux que produirait le secondaire s'il était seul ; par ρ et λ les résistance et inductance sur lesquelles débite le secondaire et qui sont telles que $u = \rho i + \lambda \frac{di}{dt}$.

Nous avons comme équations

$$(1) \quad n \frac{d\varphi_1}{dt} + nv_2 \frac{d\varphi_2}{dt} + (r + \rho) i + \lambda \frac{di}{dt} = 0,$$

$$(2) \quad \varphi_1 = 4\pi C i_1,$$

$$(3) \quad \varphi_2 = 4\pi n C i,$$

C désignant la perméance du circuit magnétique et de valeur $C = \frac{\mu S}{l}$.

Remplaçant φ_1 par sa valeur tirée de (2), φ_2 par sa valeur tirée de (3), nous obtenons l'équation instantanée

$$(4) \quad (r + \rho) i + (4\pi n^2 v_2 C + \lambda) \frac{di}{dt} + 4\pi n C \frac{di_1}{dt} = 0.$$

Passant maintenant à la forme vectorielle, nous pourrions écrire l'équation (4),

$$(5) \quad (r + \rho) I + j(4\pi n^2 v_2 C + \lambda) \omega I + j4\pi n C \omega I_1 = 0,$$

qui est l'équation de notre bushing ; d'où

$$(5') \quad I = \frac{4\pi C \omega I_1 n}{\sqrt{(r + \rho)^2 + (4\pi C v_2 n^2 + \lambda)^2 \omega^2}}.$$

III. Courbes du courant secondaire en fonction du nombre de spires, en conservant constants la résistance sur laquelle débite le secondaire et le courant primaire (courbes I (fig. 2), courbes II (fig. 3), courbes III (fig. 4), pour 0,2 — 0,6 — 1 — 1,6 — 2,8 — 4 ohms et 200, 600, 1 000 A. — Posons, pour simplifier

$$(r + \rho) = a, \quad 4\pi C v_2 \omega = b, \quad \lambda \omega = c;$$

la relation (5) s'écrit

$$I = \frac{\frac{b}{v_2} I_1 n}{\sqrt{a^2 + (c + bn^2)^2}}$$

Le coefficient de fuite v_2 dépend de n et est d'autant plus grand que n est plus petit. Nous ne connaissons d'ailleurs pas la loi de variation de v_2 en fonction de n ; toutefois, nous admettons dans cette discussion que v_2

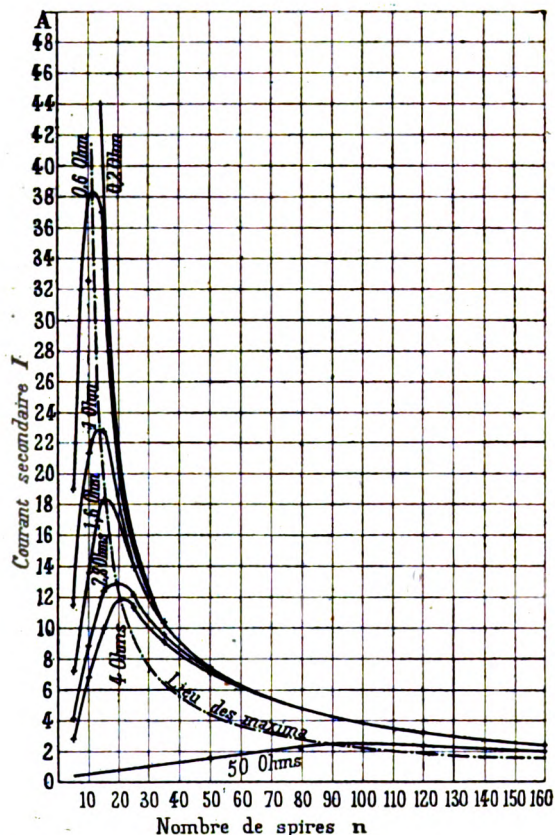


Fig. 2. Courbes $I = f(n)$ pour débit secondaire sur résistance ohmique de 0,2-0,6-1-1,6-2,8-4 ohms. Courant primaire, 200 A. Courbes I.

est constant, puisque nous voulons seulement expliquer la forme de ces courbes.

Nous poserons alors

$$\frac{I_1}{v_2} = k;$$

d'où finalement

$$(6) \quad I = \frac{bkn}{\sqrt{a^2 + (c + bn^2)^2}}$$

1. L'INDUCTANCE DU CIRCUIT SECONDAIRE EST NÉGLIGEABLE (CAS DE $c = 0$). — L'équation (6) se simplifie et devient

$$(7) \quad I = \frac{bkn}{\sqrt{a^2 + b^2 n^4}}$$

La courbe représentative de I (fig. 5), passant par l'origine avec une tangente égale à $\frac{bk}{a}$, présente un maximum pour

$$n = \sqrt{\frac{a}{b}}$$

et égal à

$$I_m = \frac{k}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{b}{a}} \text{ (résonance);}$$

une inflexion pour $n = 0$ et une autre pour

$$n = \sqrt{\frac{a}{b}} \sqrt{5};$$

puis devient asymptote à l'axe des n .

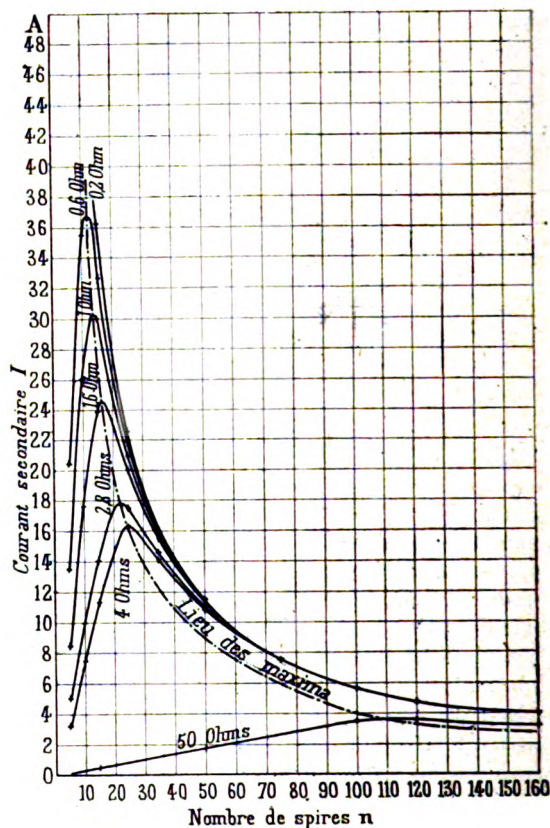


Fig. 3. — Courbes $I = f(n)$ pour débit secondaire sur résistance ohmique de 0,2-0,6-1-1,6-2,8-4 ohms. Courant primaire, 600 A. Courbes II.

De plus, nous voyons que, si le nombre de spires n croît suffisamment pour que l'on puisse négliger a , l'équation (7) devient

$$(8) \quad I = \frac{k}{n}.$$

C'est une hyperbole équilatère pour des échelles convenables.

Nous vérifions bien là la forme des courbes relevées (courbes I, II et III des figures 2, 3 et 4).

1° Donc, à partir d'un certain nombre de spires, la courbe devient pratiquement une portion d'hyperbole;

2° Si l'on fait débiter le secondaire sur des résistances différentes, toutefois assez faibles, on peut considérer

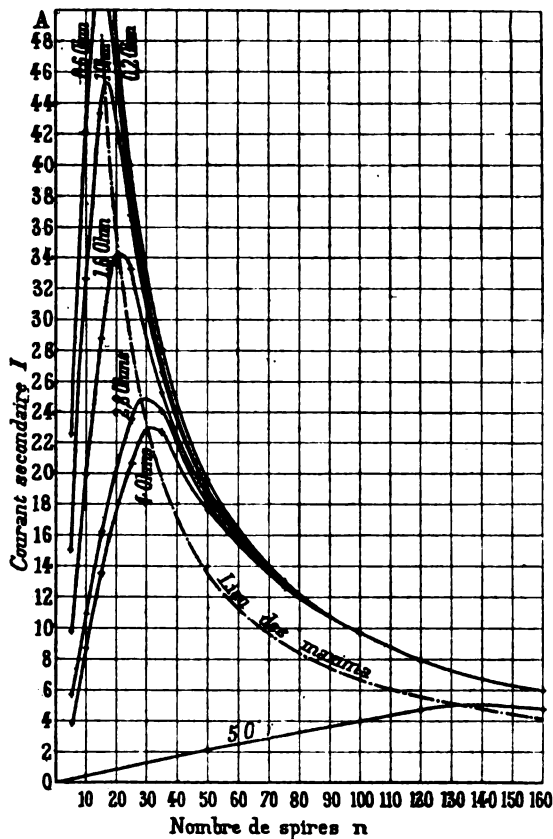


Fig. 4. — Courbes $I = f(n)$ pour débit du secondaire sur résistances ohmiques de 0,2-0,6-1-1,6-2,8-4 ohms. Courant primaire, 1 000 A. Courbes III.

comme confondues les différentes courbes à partir d'un certain nombre de spires. Les courants seront donc, pour un même nombre de spires suffisant, constants pour des résistances assez différentes.

Ainsi, les courbes relevées se confondent dès 75 ou 100 spires pour des résistances inférieures à 5 ohms.

Observations. — Pour une résistance tout à fait négligeable, la courbe limite est une hyperbole. Nous remarquons, dans nos essais, que nous sommes voisins de ce cas pour la résistance 0,2 ohm.

La courbe se reproduit inversement pour n négatif: elle correspond au cas de l'enroulement en sens inverse.

2. L'INDUCTANCE SUR LAQUELLE DÉBITE LE SECONDaire N'EST PAS NÉGLIGEABLE (CAS DE $c \neq 0$). — La courbe a la même

allure, avec un maximum pour

$$n = \sqrt{\frac{a^2 + c^2}{b}},$$

et les remarques précédentes s'appliquent.

IV. LIEU DES MAXIMA DE CES COURBES LORSQUE LA RÉSISTANCE SUR LAQUELLE DÉBITE LE SECONDaire VARIE (OU, CE QUI REVIENT AU MÊME, LORSQUE a VARIE). — 1. L'INDUCTANCE DU CIRCUIT SECONDaire EST NÉGLIGEABLE ($c = 0$). — Le lieu est donné par l'équation

$$I_m = \frac{k}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{b}{a}} = \frac{k}{\sqrt{2} n}.$$

obtenue en partant de l'équation (7) et de sa dérivée, ou mieux, en remplaçant $\sqrt{\frac{a}{b}}$ par sa valeur tirée de

$n = \sqrt{\frac{a}{b}}$ qui donne la valeur de n correspondant au maximum de I .

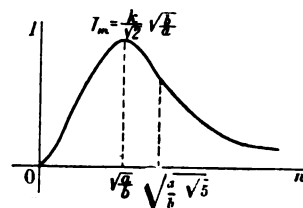


Fig. 5. — Variations du courant secondaire I en fonction de n pour une inductance nulle.

C'est une hyperbole équilatère.

Si nous comparons cette hyperbole à celle donnée par l'équation (8), nous remarquons que, pour une même abscisse n , les ordonnées sont dans le rapport 1 à $\sqrt{2}$.

Il sera donc très facile, lorsqu'on aura tracé une courbe $I = f(n)$, de tracer le lieu des maxima.

On pourra alors, grâce à nos remarques, ne connaissant que deux ou trois points relatifs à une courbe $I = f(n)$, pour une résistance différente, tracer très rapidement cette courbe.

2. LE CIRCUIT SECONDaire PRÉSENTE DE L'INDUCTANCE ($c \neq 0$). — La courbe (fig. 6) a pour équation :

$$I = \frac{bk}{\sqrt{2b(bn^2 + c)}}.$$

Elle est asymptote à l'axe des n et présente un maximum pour $n = 0$; $I_{\max} = \frac{k}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{b}{c}}$ avec une inflexion

pour $n = \sqrt{\frac{c}{2b}}$.

Toutefois, lorsque n sera assez grand pour que nous puissions négliger c , nous retomberons dans le cas précédent.

Remarque. — Nous avons, dans tout ceci, supposé v_2 et b constants; en réalité, il n'en est pas ainsi; v_2 augmente lorsque n diminue et b diminue avec la

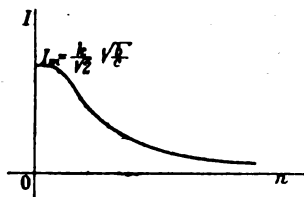


Fig. 6. — Variations du courant secondaire I en fonction de la résistance pour une inductance différente de zéro.

saturation. Il en résulte que les ordonnées seront plus faibles que celles prévues, et d'autant plus faibles que le nombre de spires sera moins élevé.

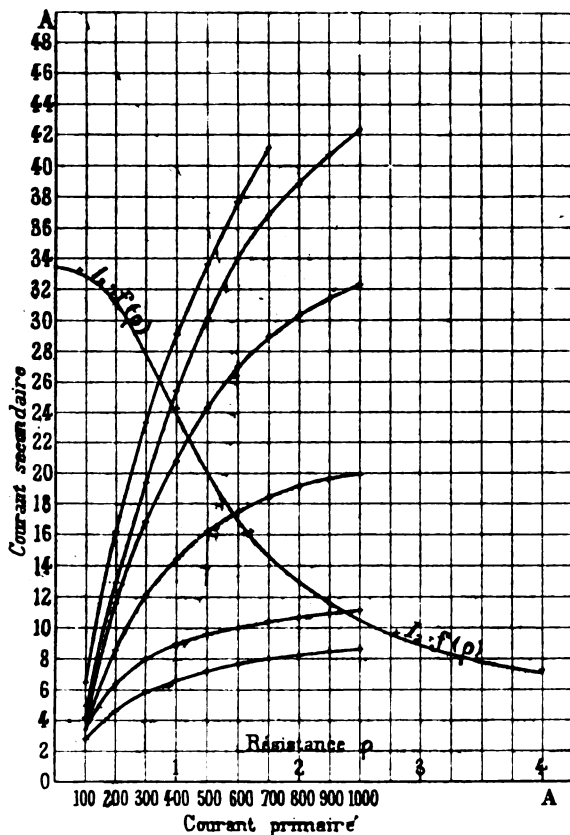


Fig. 7. — Courbes $I_2 = f(I_1)$ pour 0,2-0,6-1-1,6-2,8-4 ohms et 10 spires. Courbes IV et courbe $I_2 = f(p)$ pour 500 A et 10 spires.

V. Courbes du courant secondaire I en fonction du courant primaire I_1 pour des résistances secondaires p (ou, ce qui revient au même, a) et

des nombres de spires n constants. — Ce sont les courbes représentatives de

$$I = \frac{bn}{\sqrt{a^2 + (bn^2 + c)^2}} \frac{I_1}{v_2}$$

Nous remarquons dans les courbes relevées (courbes IV et V, des figures 7 et 8.

1° Que chaque courbe (courbes IV) semble tendre vers une limite et d'autant plus rapidement que le nombre

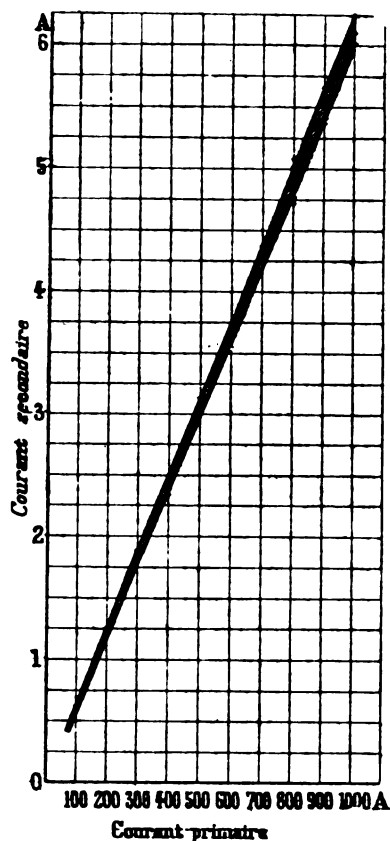


Fig. 8. — Courbe de $I_2 = f(I_1)$ pour 0,2-0,6-1-2,8-4 ohms et pour 160 spires. Courbes V.

de spires est plus faible : ceci est dû à l'augmentation des fuites et à la saturation du circuit magnétique;

2° Que, si le nombre de spires croît, les courbes tendent à se confondre : c'est la juste conséquence des remarques faites sur les courbes $I = f(n)$.

De plus, ces courbes tendent vers des droites (fig. 8), parce que, dans les limites où nous avons fait les essais, la saturation n'est pas atteinte, et qu'en outre les fuites sont très faibles, l'anneau étant entièrement bobiné par 160 spires jointives.

VI. Courbes du courant secondaire I en fonction de la résistance a pour un courant primaire I_1 et un nombre de spires n constants. — Reprenons la relation (6) avec a comme variable et dans les limites

où a n'est pas négligeable devant le terme $(bn^2 + c)$.

$$I = \frac{bkn}{\sqrt{a^2 + (bn^2 + c)^2}}$$

La courbe représentative (fig. 9) est asymptote à l'axe des a , passe par un maximum $I_{\max} = \frac{bkn}{(bn^2 + c)}$ pour $a = 0$ et présente une inflexion pour $a = \frac{bn^2 + c}{\sqrt{2}}$.

Nous avons bien là la courbe trouvée aux essais.

Observation. — On obtiendrait une courbe analogue en faisant varier l'inductance c au lieu de la résistance a .

VII. Intérêt de ces courbes. — Nous avons dit plus haut que les bushings sont destinés à actionner des relais de disjoncteur.

Ayant tracé quelques-unes de ces courbes pour des relais, de résistance et inductance quelconques, il sera aisé de déduire, d'après nos remarques, les courbes relatives à d'autres relais. On pourra donc, au moyen de ces courbes, déterminer rapidement le nombre de spires à mettre au secondaire du bushing, si l'on se donne le relais d'un interrupteur devant fonctionner

dès que le courant primaire a atteint une certaine valeur.

Remarquons encore qu'il sera préférable d'utiliser un grand nombre de spires, car le courant secondaire croît

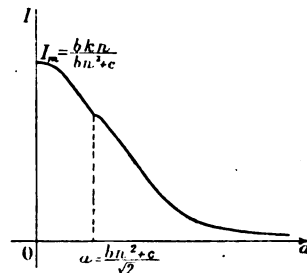


Fig. 9. — Variations du courant secondaire I en fonction de la résistance.

proportionnellement au courant primaire (comparer les courbes IV et V) et plus régulièrement qu'avec un faible nombre de spires, d'où fonctionnement plus précis du relais.

R. MAYEUR,
Ingénieur I. E. N.

Revue, analyses et informations

Abaques auxiliaires pour le calcul des lignes ⁽¹⁾.

1. INTRODUCTION. — Les formules appliquées au calcul des lignes à haute tension sont assez compliquées, car elles contiennent des fonctions hyperboliques vectorielles. Quand la ligne envisagée est relativement courte, on peut simplifier les calculs en développant les fonctions hyperboliques en séries ; mais il est, en général, plus simple d'avoir recours à des représentations graphiques de ces fonctions. Les lecteurs de cette Revue connaissent les abaqes ingénieurs de M. Kennelly, de M. R.-S. Brown et de M. Blondel.

Ces abaqes constitués par des courbes topographiques donnent la solution la plus immédiate, en permettant de calculer, par la connaissance d'un point pris sur l'abaque, la tension, le courant et le déphasage en une région de la ligne située à une distance connue de l'une des extrémités où le régime est donné.

M. Meyer ⁽²⁾ a cherché à résoudre le problème du calcul des lignes autrement, en utilisant des abaqes du type nomogramme, ou à points alignés. Nous allons décrire sommairement le principe d'établissement de quelques-uns de ces nomogrammes ⁽³⁾.

2. ABAQUE OBTENU PAR JUXTAPOSITION D'ÉCHELLES. — Une fonction peut être représentée de plusieurs manières. Une

première méthode, rarement employée, consiste à juxtaposer, sur la même droite, l'échelle de la variation indépendante et celle de la fonction. Par exemple, la figure 1 représente la fonction $\sin \alpha$ dans les limites $\alpha = 80^\circ$ et $\alpha = 70^\circ$. On reproche à cette méthode la difficulté de l'interpolation ; cet inconvénient peut, cependant, être évité parfois par un choix judicieux des échelles.

ABAQUES À POINTS ALIGNÉS. — Lorsqu'une fonction dépend de deux variables indépendantes, on peut la représenter par un abaque à points alignés suivant un principe bien connu.

Soit, figure 2, une droite quelconque coupant trois droites parallèles ; elle détermine, à partir d'une droite origine, des segments x , y , z de grandeurs telles que l'on ait la relation suivante, m et n étant les distances entre les droites,

$$(1) \quad \frac{y - x}{z - y} = \frac{m}{n},$$

ou

$$(2) \quad (m + n)y = nx + mz.$$

Cette équation montre la possibilité de déterminer sur l'une des droites la somme ou la différence de deux des trois grandeurs x , y ou z , simplement par le tracé d'une droite

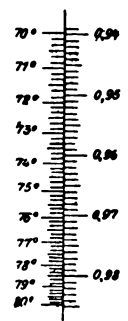


Fig. 1.

⁽¹⁾ Ulfilas Meyer. *E. T. Z.*, 27 octobre 1921, t. XLII, p. 1225-1227, 3000 mots, 6 fig.

⁽²⁾ D. V. Meyer. *Abaques pour le calcul des lignes. E. T. Z.*, 27 octobre 1911, t. XLII, p. 1225.

⁽³⁾ D'autres auteurs ont représenté les fonctions hyperboliques au moyen de nomogrammes. Voir, par exemple, *J. A. I. E. E.*, novembre 1921, t. XL, p. 854.

coupant les trois supports parallèles. Quand il s'agit d'un produit ou d'un quotient, il suffit de passer, tout d'abord, aux logarithmes des facteurs pour obtenir encore la forme linéaire ci-dessus.

Mais les échelles ne sont pas forcément parallèles et rec-

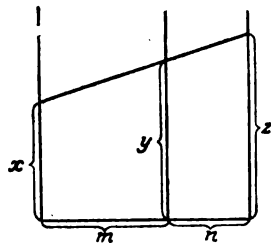


Fig. 2.

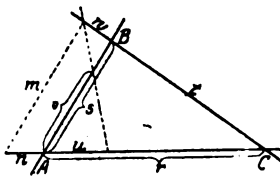


Fig. 3.

tilignes et la figure 3 donne un exemple d'abaque dont les échelles rectilignes forment le triangle A B C.

En se reportant aux désignations de la figure, on a les relations suivantes :

$$\frac{t}{r} = \frac{-w}{-n},$$

$$\frac{s}{m} = \frac{t}{-w + t},$$

$$\frac{m}{v} = \frac{-n + u}{u},$$

d'où, en éliminant m et n ,

$$us(t - w) = v(ut - wr),$$

expression qui peut s'écrire aussi sous la forme suivante :

$$\frac{u - r}{u} = \frac{v - s}{v} \cdot \frac{w - t}{w}.$$

Cette équation est celle du produit $x = yz$, en posant

$$x = l_1 l_2 \frac{u - r}{u},$$

$$y = l_1 \frac{v - s}{v},$$

$$z = l_2 \frac{w - t}{w}.$$

Ce genre de représentation est très simple, les constantes r, s, t, l_1, l_2 pouvant être choisies de façon que les échelles soient le mieux appropriées aux besoins.

4. APPLICATIONS. — Appliquons maintenant les principes ci-dessus au calcul des lignes.

Dans le calcul des quantités vectorielles on a fréquemment besoin de passer de la forme $A + iB$ à la forme $(1) Re^{i\varphi}$. On pourrait utiliser un abaque à points alignés qui serait basé sur la relation $R^2 = A^2 + B^2$; mais les échelles seraient graduées d'après les carrés des nombres, d'où une variation de la précision. On tient cependant à une précision égale tout le long de l'échelle et ce résultat n'est atteint que par

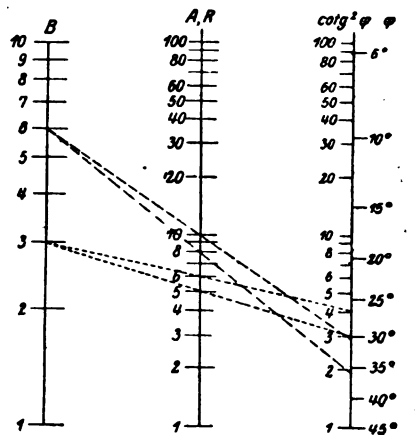
(1) La forme $Re^{i\varphi}$ s'écrit plus simplement de la façon suivante $R \angle \varphi$, R étant le module du vecteur, φ son argument. (Note du Traducteur).

l'emploi d'échelles logarithmiques. Partons donc plutôt des formules suivantes

$$\cotg \varphi = \frac{A}{B},$$

$$R = B \sqrt{1 + \cotg^2 \varphi}.$$

En prenant les logarithmes, on aura la forme désirée. Il suffira ensuite de déterminer les échelles pour que les fonctions varient dans les limites voulues. La figure 4 reproduit

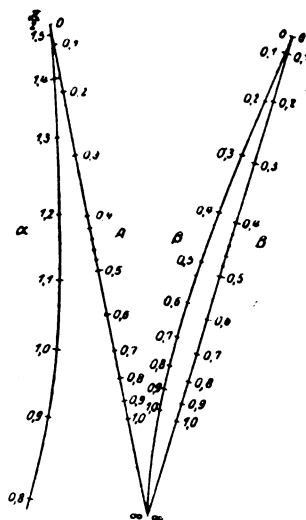


$$8 + 6i = 10 e^{i 37} \quad 6 e^{i 30} = 5.20 + 3i.$$

Fig. 4.

cet abaque en réduction. Quand A est plus petit que B , on remplace A par B , et on obtient au lieu de φ l'angle $(90^\circ - \varphi)$.

Soit encore à établir un abaque pour ramener la fonction $\cosh(\beta + i\alpha)$ à la forme $A + iB$. Il n'est pas possible d'ob-



$$(\beta + i\alpha) = A + iB.$$

Fig. 5.

tenir un abaque ayant toutes ses échelles rectilignes. Le lieu des points α et β est une hyperbole, ainsi qu'on le voit sur la figure 5. Les grandeurs A et B sont portées sur deux

droites qui se coupent ; le support de β passe par leur point d'intersection. Les valeurs de α ne peuvent être inscrites qu'en partie, la graduation s'étendant jusqu'à l'infini pour des valeurs décroissantes de α . Pour des valeurs très petites de α , la graduation s'étend à la partie supérieure de la branche de droite de l'hyperbole, support de β , les deux échelles α et β faisant partie de la même hyperbole.

Une autre formule importante pour le calcul des lignes est la suivante :

$$\operatorname{tg}(\beta + i\alpha) = Me^{i\varphi}.$$

Soit, par exemple, à déterminer M et φ à partir de α et β . Les formules de transformations suivantes peuvent être appliquées ⁽¹⁾ :

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2M \sin \varphi}{1 - M^2},$$

$$\operatorname{tg} 2\beta = \frac{2M \cos \varphi}{1 + M^2},$$

L'auteur a construit un abaque à échelles rectilignes pour le calcul de ces dernières expressions.

Lv.

Etude sur la résistance des antennes d'émission ⁽²⁾.

INTRODUCTION. — On sait qu'il est nécessaire d'employer de grandes longueurs d'ondes pour transmettre sur de longues distances, mais le rayonnement utile — qui est proportionnel au carré de la hauteur de l'antenne divisé par le carré de la longueur d'onde — devient insignifiant en comparaison des autres pertes, quand la longueur d'onde est suffisamment grande.

La limite pratique de la hauteur d'une antenne étant de 240 m environ, la résistance de rayonnement pour des lon-

gueurs d'onde supérieures à 10 000 m ne peut être supérieure à un ohm ; pour des longueurs d'onde plus grandes encore, elle est réduite proportionnellement à l'inverse du carré de la longueur d'onde.

A 20 000 m la résistance de rayonnement sera inférieure à 0,25 ohm et la résistance totale de l'antenne et de la terre sera probablement de l'ordre de 2 ohms, de sorte que seulement 10 pour 100 de l'énergie fournie à l'antenne sera rayonnée, c'est-à-dire employée utilement.

Il importe donc d'augmenter ce rendement. Pour cela on peut :

1° Augmenter la hauteur, moyennant la dépense de pylônes très coûteux, dont la hauteur est en fait limitée à 240 m ;

2° Réduire les pertes dans la terre et les fils environnants, de sorte qu'elles soient faibles en comparaison de l'énergie rayonnée.

CONSTRUCTION D'UN ÉCRAN. SON RÔLE. — Des expériences suggérées par le capitaine Round viennent d'être exécutées par la Marconi Wireless Telegraph Co, afin d'étudier ce second point de vue et ce sont les résultats obtenus au cours de cette étude que nous allons résumer.

Une grande partie de l'énergie fournie à l'antenne se perdant dans le sol voisin, il s'agissait de former écran entre la terre et les effets électromagnétiques de l'antenne. Dans ce but, une antenne en L inversé fut employée ; un écran de fils parallèles à la partie horizontale de l'antenne et isolé du sol fut construit, à la manière d'une capacité compensatrice ou *contrepois*. Ceci n'est pas nouveau puisque plusieurs antennes, dont celle de Lodge, ont eu cette forme, mais, dans leur ensemble, les fils inférieurs de ces antennes ont été considérés comme jouant seulement le rôle de capacités, et l'on n'a pas compris leur vraie fonction comme écrans.

L'action de l'écran est d'intercepter les lignes de force qui vont de l'antenne à la terre et d'envoyer le courant de retour sur les fils de l'écran et non pas à la terre (fig. 1).

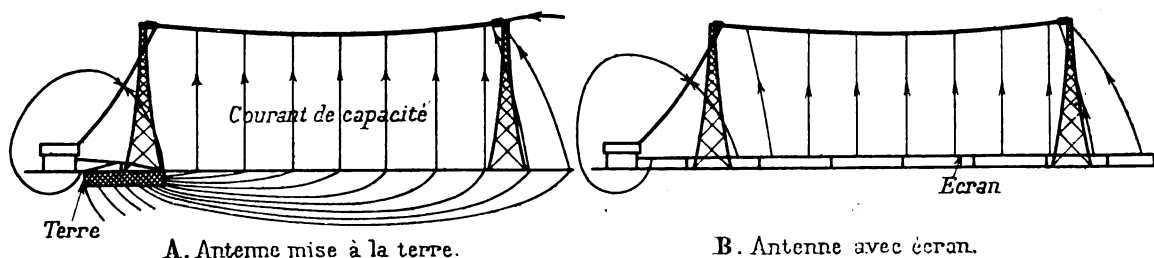


Fig. 1. — Fonctionnement de l'écran.

L'écran adopté pour les expériences consistait en 64 fils espacés de 0,30 m, longs de 60 m et supportés par des poteaux en bois à une hauteur de 0,75 m au-dessus du sol. Il couvrait tout l'espace au-dessous de l'antenne et s'étendait dans toutes les directions ; sa longueur au delà de l'antenne était au moins égale à la hauteur de l'antenne (4,50 m).

On peut expliquer de différentes façons le rôle de l'écran. La plus simple est la suivante. Une antenne de la forme

représentée en figure 2 rayonnera de l'énergie dans les directions OP, OQ si elle est isolée dans l'espace. Si la branche inférieure AB de l'antenne est placée juste au-dessus de la terre, l'antenne rayonnera encore dans la direction OQ, mais l'énergie rayonnée sera réfléchiée et en partie absorbée à la surface de la terre ; en fait les courants induits dans la terre représentent une mesure de la réaction de celle-ci contre le rayonnement dans cette direction. Ce sont ces courants telluriques qui sont responsables de la perte considérée.

Quel que soit le point de vue auquel on envisage l'action de l'écran, que ce soit au point de vue de la force électrique, de la force magnétique ou du rayonnement, on arrive aux mêmes résultats qui peuvent être résumés ainsi :

1° Les pertes dans la terre sont produites par l'action de

⁽¹⁾ Ces expressions ont été déjà indiquées, aux notations près, par MM. A. Blondel et Ch. Lavanchy. *R. G. E.*, 1920, t. VIII, p. 767. Calcul électrique des lignes à haute tension au moyen d'abaques universels ; A. Blondel et Ch. Lavanchy. *Ibid.*, p. 84.

⁽²⁾ T.-L. ECKERSLEY. Note présentée à la Wireless Section of the Institution of Electrical Engineers. *J. I. E. E.*, 31 octobre 1921, 14 pages ; *Electrician*, 23 décembre 1921, t. LXXLVII, p. 786-787.

la force électrique horizontale, due à l'action différentielle des courants horizontaux dans l'antenne et l'écran.

2° Puisqu'il existe nécessairement un rayonnement vers le sol pour toute antenne à fils horizontaux, la perte dans la terre ne peut pas être complètement éliminée, sauf quand

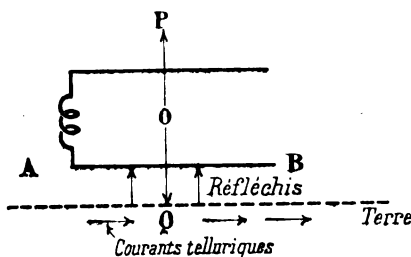


Fig. 2. — Antenne schématique montrant le rôle de la terre au point de vue de l'énergie rayonnée.

la conductivité de la terre est parfaite, ou qu'il existe un réflecteur parfait entre l'écran et la terre.

3° La force électrique de fuite perpendiculaire à la surface de la terre et calculée d'après la théorie des ondes stationnaires (c'est-à-dire en supposant que la force électrique due aux charges sur l'antenne à tout instant soit dans un état constant ou quasi-stationnaire), contribue à toute perte due à la présence de mauvais diélectriques à la surface de la terre.

Il est facile de comprendre que la théorie des ondes stationnaires ne peut donner aucun renseignement en ce qui concerne les pertes dans la terre, car la distribution des forces électriques est, d'après cette théorie, la même que celle due aux charges statiques. La force électrique à la surface de la terre est donc partout perpendiculaire à celle-ci, et le flux d'énergie, d'après la théorie de Poynting, doit être partout parallèle à la surface de la terre, de sorte qu'il ne peut pas y avoir de perte puisqu'aucune énergie n'y circule.

C'est par l'action de la force horizontale (négligée dans la théorie précédente), que de l'énergie circule dans la terre et y est perdue.

RÉSULTATS. — Un des résultats les plus intéressants, tout au moins au point de vue théorique, est la réduction de la

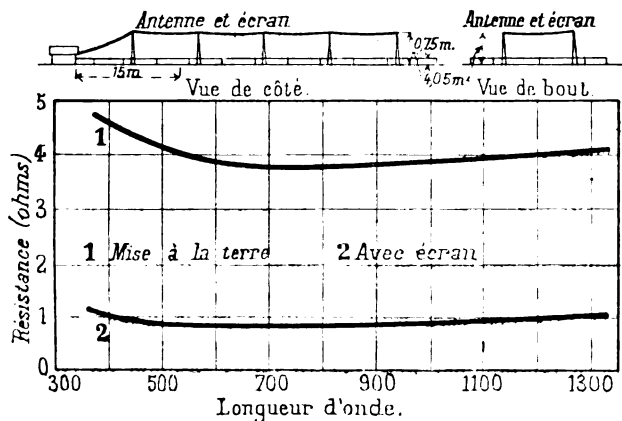


Fig. 3. — Diminution de la résistance d'une antenne en L pourvue d'un écran.

résistance de l'antenne avec écran par rapport à celle de l'antenne mise à la terre. Ces résultats sont indiqués sur les courbes de la figure 3, et l'on peut vérifier immédiatement

qu'il se produit une réduction du simple au quart dans la résistance de l'antenne, pour toutes les longueurs d'onde comprises entre la longueur d'onde propre de l'antenne et une longueur d'onde quadruple de celle-ci.

L'importance de ce résultat sera plus visible si l'on se rappelle que la puissance nécessaire pour produire un courant donné dans l'antenne — donc une portée donnée — est réduite du simple au quart par l'emploi de l'antenne avec écran. En d'autres termes, en supposant qu'une quantité déterminée d'énergie est fournie, l'antenne avec écran équivaut à une antenne mise à la terre de hauteur double (ceci, bien entendu, n'est vrai que dans le cas où l'antenne mise à la terre a un mauvais rendement, c'est-à-dire que la puissance rayonnée n'est qu'une faible fraction de l'énergie totale fournie à l'antenne).

On voit sur les courbes de la figure 3 que, pour les courtes longueurs d'onde, la résistance est relativement élevée. Elle atteint un minimum entre 1,50 et 3 fois la longueur d'onde propre de l'antenne λ_0 , et elle augmente encore pour les plus grandes longueurs d'onde. Pour de très grandes valeurs du rapport $\frac{\lambda}{\lambda_0}$, la résistance est presque proportionnelle à λ et.

dans certains cas, elle peut augmenter beaucoup plus rapidement que la première puissance de λ .

Or les divers éléments de la résistance de l'antenne sont :

1° La résistance de rayonnement

$$k \times 1,580 \frac{h^2}{\lambda^2};$$

2° La résistance des fils

$$a \frac{1}{(\lambda)^3};$$

3° La résistance due aux courants telluriques

$$a \frac{1}{(\lambda)^3}, \text{ (approximativement).}$$

Tous ces éléments de la résistance varient en fonction inverse d'une certaine puissance de la longueur d'onde, de sorte que la résistance totale due à toutes ces causes devrait, quand λ croît, décroître pour toutes les longueurs d'onde.

L'augmentation de résistance avec les grandes longueurs d'onde est donc due à quelque autre cause que celles considérées précédemment. M. Miller a montré que cette augmentation est due à la présence de mauvais diélectriques dans le champ électrique de l'antenne. Cette conclusion s'est trouvée pleinement vérifiée par les expériences de l'auteur à la fois sur les antennes avec ou sans écran.

La résistance due à cette cause a été trouvée directement proportionnelle à la longueur d'onde. Quand on étudie cette perte due aux diélectriques, on a l'habitude de considérer l'antenne comme formant un condensateur, de supposer qu'elle a un facteur de puissance constant et d'en déduire que la résistance d'un circuit à capacité constante doit être proportionnelle à la longueur d'onde. Cette théorie peut séduire l'ingénieur habitué à considérer les facteurs de puissance, mais elle semble un peu arbitraire au physicien qui doit se demander : « Pourquoi le facteur de puissance reste-t-il constant ? » L'auteur a donc préféré déduire la proportionnalité de R et λ de l'hypothèse fondamentale suivante : une certaine fraction de l'énergie emmagasinée dans le condensateur formé par l'antenne et l'écran est perdue par pé-

riode d'oscillation ; il en donne un exemple très simple. celui d'un condensateur à plaques parallèles.

Dans quelques rares cas, la résistance a même augmenté plus vite que la première puissance de la longueur d'onde, mais, dans de tels cas, l'augmentation trop rapide de R est presque toujours due à l'effet des fuites. Il en résulte l'introduction d'un terme proportionnel au carré de la longueur d'onde, car, si R est la résistance des fuites à travers le condensateur (supposée si grande que seule une fraction du courant est prise par R), la perte due à cette cause est $\frac{V^2}{R}$, c'est-à-dire

$$\frac{I^2}{p^2 \lambda^2 R} = \frac{I^2 \lambda}{(2\pi)^2 C^2 H \lambda^3} \quad (p = 2\pi n),$$

par conséquent proportionnelle à λ^2 .

La résistance peut donc être décomposée en quatre parties :

a) Résistance de rayonnement

$$\propto \frac{1}{\lambda^2}.$$

b) Résistance pour courants telluriques et résistance des fils

$$\propto \frac{1}{(\lambda)^2} \text{ (approximativement).}$$

c) Résistances due aux pertes diélectriques, $\propto \lambda^2$.

d) Résistance due aux fuites, $\propto \lambda^2$.

Étant donnée une courbe exprimant la résistance en fonction de la longueur d'onde, il est très facile de tracer une courbe de la forme

$$\frac{A}{(\lambda)^2} + \frac{B}{(\lambda)^2} + C + D\lambda^2,$$

et de trouver ainsi l'importance des divers éléments de la perte totale.

EXPÉRIENCES FAITES SUR L'ÉCRAN. — Dans le cas de l'antenne avec écran, l'étude de l'origine des pertes a été facilitée par des expériences faites avec diverses dispositions des fils de l'écran. Non seulement ces expériences ont permis de fixer une limite du nombre de fils nécessaires, dans un cas donné, pour réduire la résistance à une fraction déterminée de sa limite inférieure, mais elles ont aussi surtout permis de déterminer clairement l'origine et la nature des pertes. Nous ne suivrons pas l'auteur dans cette partie de son étude et nous nous bornerons à signaler les conclusions intéressantes suivantes.

La théorie de l'antenne et de l'écran telle qu'elle est établie par l'auteur est suffisamment complète en ce qui concerne les pertes par courants telluriques, et le point saillant est que toute nouvelle réduction de ces pertes ne peut être obtenue que par une augmentation de la largeur de l'antenne et de l'écran à la fois ; les autres pertes sont plus difficiles à étudier, car elles sont moins bien définies et qu'elles dépendent davantage de la présence accidentelle de mauvais diélectriques dans le champ de l'antenne.

Les pertes, autres que celles dues aux courants telluriques, peuvent être éliminées en grande partie par une construction convenable des isolateurs, des supports, etc... L'effet d'une construction défectueuse est mis en évidence par les résultats obtenus quand l'écran est porté par un

grand nombre de poteaux en bois. Les courbes tracées à ce effet ont montré qu'une grande partie des pertes dues aux diélectriques peut être éliminée en remplaçant les poteaux en bois par des poteaux en fer. Ces pertes, en effet, atteignent une valeur presque double de leur valeur ordinaire, lorsque le bois est très humide.

Avec les antennes mises à la terre, une forte proportion des pertes dues aux diélectriques reste constante, même lorsque tous les diélectriques suspects ont été éliminés. Avec l'antenne à écran, la perte n'est que les sept centièmes de celle-ci. Pour cette raison en particulier, il est probable que cette perte rémanente est due à la végétation de surface ; il est d'ailleurs facile de démontrer expérimentalement que cette perte à la surface représente une grande fraction de l'énergie qui y est emmagasinée.

OSCILLATIONS DANS L'ÉCRAN. — Pour que la théorie de l'antenne avec écran soit complète, il importe de mentionner quelques effets curieux observés tout d'abord sur des antennes du type circulaire et ensuite sur les antennes en L inversé et en T.

Ces effets se manifestèrent sous forme d'une très rapide augmentation de résistance aux longueurs d'onde voisines de la longueur d'onde propre de l'antenne, augmentation trop rapide pour qu'on pût l'expliquer par une variation des courants telluriques ou de la résistance de rayonnement. Pour des longueurs d'onde encore plus faibles, la résistance diminuait de nouveau. La courbe de résistance présentait donc un maximum dans le voisinage de la longueur d'onde propre de l'antenne. Il était naturel de supposer que ce maximum était dû à la présence de quelque oscillation de cette période particulière. Les recherches entreprises démontrèrent qu'il en était bien ainsi.

Considérons un diagramme représentant (fig. 4) une antenne avec écran. Un tel système possède au moins trois modes d'oscillation qui sont représentées sur la figure, les flèches désignant le sens du courant pour chaque mode particulier d'oscillation.

L'oscillation n° 1 est l'oscillation principale qui explique le rayonnement de l'énergie.

L'oscillation n° 2 est celle qui se produit d'une extrémité à l'autre de l'écran. Elle peut évidemment absorber une grande quantité d'énergie et ne peut être que nuisible. Elle est ordinairement voisine de la période propre de (1), ce qui constitue un grave inconvénient quand on travaille sur les courtes longueurs d'onde.

L'oscillation n° 3 est l'oscillation d'une extrémité à l'autre de l'antenne ; normalement elle est extérieure à l'intervalle des longueurs d'onde employées et, par suite, elle peut être négligée.

On pourrait supposer à première vue, à cause de la symétrie de l'antenne, qu'aucune oscillation du type (2) ne peut se produire quand une force électromotrice est induite seulement dans la partie verticale de l'antenne. Mais, outre la difficulté de réaliser cette dernière condition, une symétrie électrique absolue est presque impossible à obtenir et, dans ce cas, le point de fixation de l'antenne sur l'écran n'est pas à un nœud de potentiel de l'oscillation (2). L'existence d'une oscillation (1) produira donc nécessairement les autres oscillations ; en fait, les oscillations (1) et (2) ne sont pas indépendantes, à moins que l'antenne ne soit fixée au nœud de (2). De plus, si la hauteur de l'antenne est plus grande d'un côté que de l'autre, la symétrie sera détruite et des oscillations forcées du type (2) seront engendrées, à moins que l'on ne prenne des précautions spéciales pour les éliminer.

Une méthode consiste à mettre à la terre le point O où l'écran est réuni à l'antenne. Le point O devient ainsi un nœud de potentiel, ce qui détruit le couplage. Cette méthode est assez efficace, mais elle ne réduit pas la résistance à sa valeur normale dans le voisinage de la période propre de (2). Elle offre deux désavantages qui peuvent être sérieux dans certains cas :

a) Elle introduit une autre oscillation du type (4) dans laquelle l'écran mis à la terre agit comme une antenne en

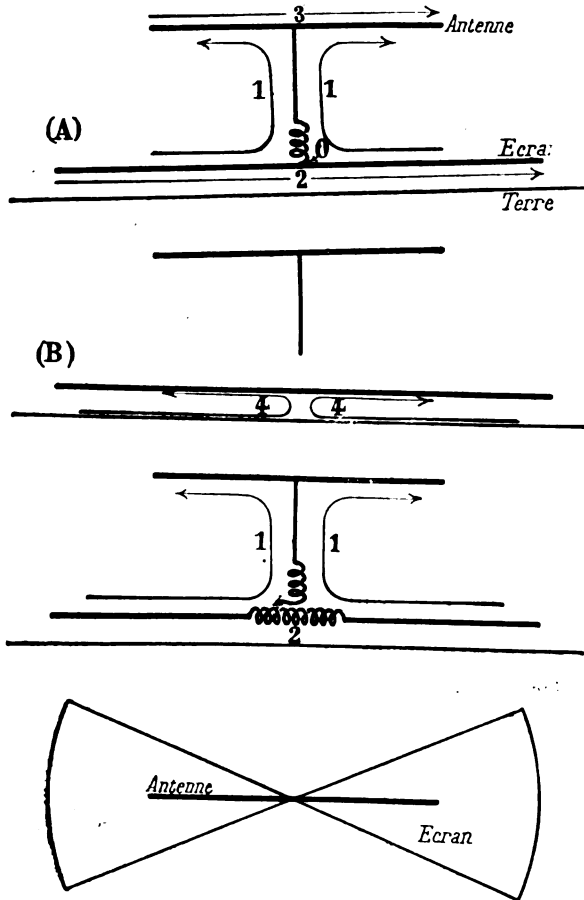


Fig. 4. — Oscillations libres de l'écran.

miniature du type T et de longueur d'onde supérieure à la période propre de (1). (Voir fig. 4 B).

b) Le point O ne sera pas, en général, un nœud naturel de potentiel de l'oscillation (1). La mise à la terre de ce point introduira donc des courants telluriques, à la naissance desquels l'écran au contraire devrait s'opposer.

Dans une antenne du type en L inversé, la mise à la terre du point O conduit généralement à une augmentation de 50 pour 100 de la résistance. On a remarqué, cependant, qu'il existe un point de la self-induction d'antenne qui peut être mis à la terre sans augmentation de la résistance. C'est là un résultat d'importance pratique considérable, car il permet de stabiliser les potentiels du système entier en mettant à la terre un point déterminé.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES. — Les résultats très favorables obtenus jusqu'à présent semblent bien augurer de la possi-

bilité d'obtenir à l'avenir de meilleurs résultats encore. Il y a certes des progrès à faire, car les pertes à la terre dans les cas déjà considérés forment encore une grosse proportion de la résistance totale.

De nouvelles réductions des pertes à la terre pourront être obtenues par un élargissement simultané de l'écran et de l'antenne. Quant aux pertes dues aux diélectriques, on pourra les diminuer en rapprochant de plus en plus les fils ou en employant un écran complet radial dans lequel l'effet des bords sera réduit au minimum.

Les écrans ont été utilisés avec succès dans de grandes stations, telles que celle de Clifden, où il suffit actuellement de mettre en jeu une puissance égale au sixième de la puissance autrefois nécessaire. On voit donc que la pratique de la télégraphie sans fil à grande distance peut être très considérablement modifiée par ces résultats.

Il est évident que, si l'on obtient un rendement de rayonnement parfait, la hauteur, les dimensions et la forme de l'antenne n'importeront guère tant que le rayonnement se fera dans la direction voulue, car toute la puissance mise dans l'antenne sera utilement employée à rayonner. Mais avec de petites antennes ou des antennes basses, nous rencontrons probablement d'autres difficultés. Si, par exemple, nous diminuons de moitié la hauteur effective, il nous faudra doubler le courant pour produire la même portée; en fait, les courants nécessaires sont inversement proportionnels aux hauteurs. Pour cette raison les courants dans une antenne basse tendent à devenir exagérés et la tension limite de l'antenne peut être rapidement atteinte. Reprenons le même exemple : si nous diminuons de moitié l'antenne, il nous faut doubler la capacité pour la même tension maximum dans chaque cas, et ainsi de suite; la réduction de moitié de la hauteur de l'antenne accroîtra à peine la capacité dans la majorité des cas, de sorte qu'il nous faudra étendre l'antenne.

Or, il est meilleur marché de monter une antenne de 120 m de hauteur, avec une capacité $2C$, que de monter une antenne de 240 m avec une capacité C . La hauteur est plus difficile à réaliser que la superficie. En prenant soin de diminuer les résistances passives, la hauteur de l'antenne peut être réduite sans qu'on ait à augmenter la puissance nécessaire pour produire une portée donnée et, dans le cas limite, un cadre pourra être employé pour réduire les brouillages au minimum et pour augmenter le rayonnement efficace dans la direction nécessaire, avec un condensateur à plaques qui contrôlerait effectivement la tension maximum.

Ceci n'est pas possible quand les résistances passives sont grandes en comparaison de la résistance de rayonnement. car, dans ce cas, toute diminution de hauteur entraîne une augmentation correspondante de puissance. On a supposé le cas idéal, jamais réalisé en pratique, d'un rendement de rayonnement parfait; néanmoins, la réduction des résistances passives se traduira toujours par : a) une économie de puissance; b) une économie sur le prix de revient des antennes, puisqu'on emploiera une antenne basse pour faire le service d'une antenne haute.

Il est intéressant de se demander si la résistance peut être réduite d'une autre façon. Naturellement l'antenne d'Alexanderson à prises de terre multiples se présente à l'idée : une comparaison rapide entre les deux procédés n'est donc pas déplacée dans cet article. En mettant les pertes à la terre en parallèle et non plus en série, la résistance est réduite dans le rapport de n^2 à 1, si n est le nombre de terres; mais la perte due aux diélectriques reste inchangée par cette méthode de mise à la terre, perte qui forme, comme nous l'avons vu, la majeure partie des pertes sur les longueurs

d'onde grandes par rapport à la longueur d'onde propre de l'antenne.

Toute réduction de la perte due aux diélectriques de la surface ne peut être obtenue que par un écran convenable. On peut évidemment employer une combinaison des deux systèmes, combinaison qui sera même préférable dans certains cas, par exemple, dans le cas d'antennes longues et étroites : l'antenne à terres multiples souffre cependant du désavantage suivant : on ne peut pas la laisser osciller librement, puisqu'elle a de nombreuses périodes propres possibles, mais il faut l'obliger à osciller à la fréquence déterminée d'une machine ou d'un appareil sur lequel on ne peut pas agir.

Nous avons dit que, dans le cas d'antennes longues et étroites, la méthode Alexanderson est préférable. La protection d'une telle antenne par un écran peut, en effet, ne pas réduire suffisamment la résistance, et il est difficile d'élargir une antenne existante dans le but de réduire sa résistance. La seule alternative est alors d'employer les feeders Alexanderson et de mettre les diverses sections de l'antenne en parallèle et non plus en série, ce qui équivaut à un élargissement et à un raccourcissement simultanés de l'antenne. Mais pour tirer les meilleurs résultats de cette méthode, il sera bon d'employer un écran convenable pour intercepter les lignes de force venant de l'antenne et réduire, par suite, les pertes par diélectriques à la surface.

Nous pouvons donc conclure que l'antenne avec écran constitue, malgré ses inconvénients, une nouvelle étape vers le rendement de rayonnement parfait. — G. M.

Sur l'entretien simultané d'un circuit oscillant et de circuits harmoniques ⁽¹⁾.

Nous reproduisons ci-après une note de M. GURTON présentée à une des dernières séances de l'Académie des Sciences :

Lors de l'entretien d'oscillations électriques par une lampe à trois électrodes, les variations pendulaires du potentiel de la grille ne produisent pas des oscillations pendulaires de l'intensité du courant dans le circuit de plaque. A cause de la forme courbe des caractéristiques de la lampe, il n'y a pas proportionnalité entre les variations du potentiel de la grille et celles du courant de plaque.

Le circuit oscillant a une impédance très grande pour la fréquence fondamentale du courant de plaque parce qu'il est accordé. Il résonne sur cette fréquence qui y prend une intensité prépondérante.

L'impédance du circuit oscillant, pour les fréquences harmoniques, est, au contraire, très faible et les harmoniques du courant de plaque ne sont pas supprimés par le circuit oscillant.

Si donc, outre le circuit oscillant principal, on dispose sur le circuit de plaque un circuit accordé sur l'un de ces harmoniques, il vibrera en même temps que le premier, sans qu'il soit nécessaire de le coupler au circuit de grille.

Il est ainsi possible d'entretenir, simultanément, par une seule lampe, une oscillation et toute la série de ses harmoniques. Chacun d'entre eux résonne, dans un circuit distinct, qui supprime l'harmonique correspondant du courant de plaque.

En ajoutant au circuit principal un seul circuit oscillant de période variable, on peut y faire résonner successivement tous les harmoniques.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 3 avril 1922, t. CLXXIX, p. 941-942.

Si le circuit harmonique n'est pas exactement accordé, il est le siège d'oscillations forcées qui ont, malgré le désaccord, la fréquence exacte de l'harmonique.

Les intensités des courants dans les circuits harmoniques augmentent lorsqu'on fait croître le couplage du circuit principal avec les circuits de grille ou de plaque de la lampe. Ils s'exagèrent aussi lorsqu'on baisse ou lorsqu'on augmente la tension moyenne de la grille en intercalant sur le circuit de grille une batterie de piles.

Ce sont justement les conditions pour lesquelles la trajectoire du point de fonctionnement, sur le diagramme des caractéristiques, pénètre profondément dans les régions très courbées ou horizontales de celles-ci.

Lorsqu'on diminue les couplages jusqu'aux plus petites valeurs compatibles avec l'entretien d'oscillations et lorsqu'on fixe, en réglant la tension de grille, le point de fonctionnement moyen au voisinage du point d'inflexion d'une caractéristique, on n'utilise plus que les parties presque rectilignes de ces courbes et les harmoniques deviennent faibles.

L'entretien simultané par une même lampe d'une oscillation fondamentale et de ses harmoniques fournit un moyen facile d'obtenir avec intensité des oscillations, dont les fréquences sont dans un rapport connu, et d'appliquer la méthode d'étalonnage des ondemètres, imaginée par M. Abraham, ou celle qui a été récemment décrite par M. Mercier ⁽¹⁾.

L'adjonction à un oscillateur de circuits, dont les fréquences sont des sous-multiples de la fréquence fondamentale, supprime les harmoniques du courant de plaque. Lorsque, pour augmenter la stabilité des oscillations, on est obligé d'utiliser des couplages plus élevés que le couplage minimum, ou de baisser la tension de grille afin d'améliorer le rendement, il y a intérêt à se débarrasser des harmoniques. On constate, en effet, que leur suppression fait augmenter l'amplitude des oscillations dans le circuit principal. L'intensité moyenne du courant de plaque croît, il est vrai, un peu ; mais, au total, le rendement est amélioré et, par suite, l'échauffement de la lampe diminué.

Pour les faibles couplages du circuit oscillant et des circuits de grille et de plaque, qui fournissent des oscillations peu stables, la suppression des harmoniques fait, au contraire, diminuer l'amplitude des oscillations et le courant moyen de plaque.

Auto-corrosion de la fonte de fer et de divers métaux dans les sols alcalins ⁽²⁾.

L'auteur étudie les conditions qui règlent la corrosion de conduites métalliques enfouies dans le sol et, plus particulièrement, l'altération des tuyaux de fonte noyés dans le sous-sol de la ville de Winnipeg, au Canada.

La corrosion externe d'un grand nombre de conduites d'eau souterraines n'est pas due à l'action électrolytique de courants vagabonds : une telle action ne peut être destructive du métal que si elle est dirigée du métal vers le milieu extérieur ; et elle nécessite ou bien le voisinage d'une puissante station électrique, ou bien le voisinage d'un rail, d'un câble souterrain relié à une telle station. La corrosion ne nécessite pas l'acidité du milieu.

L'auteur rappelle les principes électrochimiques du déplacement des ions, principes qu'il estime peu connus des ingénieurs. Il invoque un résultat expérimental de Walker,

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 13 février 1922, t. CLXXIV, p. 448 ; *R. G. E.*, 22 avril 1922, t. XL, p. 578.

(2) W. NELSON SMITH, *Western Canada Contractor*, octobre 1911, 10 pages, 1200 mots, 5 fig., 8 tab.

selon lequel le fer peut s'altérer, en présence d'humidité, même en l'absence de toute trace d'oxygène ou de gaz carbonique (1).

La corrosion est activée par les substances qui enrichissent la solution en ions hydrogène; elle est entravée par les substances susceptibles de détruire les ions hydrogène dans la solution.

Le sol de Winnipeg renferme des sulfates et des chlorures de calcium et de magnésium, avec prédominance des sulfates; il renferme aussi des carbonates de calcium et de magnésium, avec prédominance du carbonate de calcium. La réaction amorcée par CaSO_4 donne CaSO_3 comme produit final et, par suite, se poursuit indéfiniment. Le fer tend à donner d'abord un hydrate ferreux, puis un hydrate ferrique $\text{Fe}(\text{OH})_3$; ce dernier constitue la rouille.

Par des expériences de laboratoire, l'auteur établit que, d'une façon générale, la rouille apparaît plus rapidement dans les solutions diluées, et qu'elle est plus abondante dans les solutions concentrées. Il classe les solutions par ordre d'efficacité décroissante au point de vue de la corrosion.

Avec les produits ordinaires d'oxydation qui comprennent les hydrates ferriques, l'auteur a rencontré, dans ses nombreuses analyses, des phosphates ferreux et des sulfures de fer, produits qui n'avaient peut-être pas encore été signalés dans la corrosion des conduites souterraines en fonte.

La résistance électrique du sol varie en sens contraire de son humidité. On avait déjà remarqué qu'à Winnipeg l'humidité du sol est moindre autour des conduites de gaz qu'autour des conduites d'eau, en raison de la température plus élevée du gaz. On comprend, désormais, que les conduites d'eau soient plus détériorées que les conduites de gaz.

L'auteur conclut que des sols alcalins et humides, de compositions différentes, peuvent engendrer, au contact du fer et en l'absence de tout courant électrique vagabond, des forces électromotrices amplement suffisantes pour expliquer les effets de corrosion constatés.

La protection des conduites contre la corrosion par une couche de coaltar ou d'une peinture similaire est inefficace. Il semble que cette protection peut être obtenue en comblant la tranchée, où l'on installe la conduite, avec du sable quartzéux ou du gravier de rivière lavé. Ces matériaux n'empêchent pas les solutions salines d'atteindre les tuyautages; mais en retardant la vitesse de cheminement des solutions, ils favorisent l'oxydation de ces dernières, l'affaiblissement de leur concentration et la formation, à la surface de la conduite, d'un revêtement de rouille protecteur.

Influence des dimensions d'un aimant permanent sur son coefficient de température (2).

On sait que l'intensité d'aimantation d'un aimant permanent varie légèrement, et d'une façon réversible, avec la température. De nombreuses mesures ont déjà été faites du coefficient de température correspondant, et on a observé, en particulier, que ce coefficient dépend, non seulement de

la nature de la substance, mais encore des dimensions de l'aimant.

On peut penser que ce dernier effet tient à la force démagnétisante produite par le magnétisme libre des extrémités, et qui dépend elle-même des dimensions de l'aimant. D'après la théorie moléculaire du magnétisme, à une température donnée, chaque molécule de l'aimant exécute des mouvements vibratoires de translation et de rotation, qui ne sont du reste pas indépendants. Les mouvements de translation n'affectent évidemment pas l'intensité d'aimantation. Mais, au cours des mouvements vibratoires de rotation, l'effet moyen des actions moléculaires dans la direction de l'aimantation est plus petit qu'il ne l'est au repos. Cet effet s'accroît donc avec la température; il est d'ailleurs réversible: il ne doit dépendre que de la nature de la substance, et non de ses dimensions.

Mais, d'autre part, dans un barreau aimanté, chaque molécule exécute des vibrations de rotation sous l'action d'une force démagnétisante. Il en résulte qu'à une température donnée l'amplitude de la vibration, en présence de la force démagnétisante, sera légèrement supérieure à son amplitude en l'absence de cette force démagnétisante; le coefficient de température d'un aimant doit, d'après cela, varier linéairement, en première approximation, avec la force démagnétisante. Le vrai coefficient de température correspondrait alors au cas où la force démagnétisante est nulle.

Le présent travail a été entrepris pour contrôler cette théorie.

La méthode consistait à mesurer le coefficient de température d'un aimant soumis à l'action d'un champ de diverses intensités, appliqué dans le sens de l'aimantation ou en sens inverse.

L'aimant essayé était caractérisé par un grand champ coercitif (de 240 gauss), et une intensité d'aimantation résiduelle de 5,5 unités C. G. S.; ses dimensions étaient: longueur 20 cm, épaisseur 5 mm. On mesurait au magnétomètre son intensité d'aimantation et on le chauffait au moyen d'une bobine à résistance.

La mesure était conduite de la façon suivante: on se servait de deux aimants de même dimension, l'un soumis aux mesures, et l'autre destiné à compenser l'action magnétique sur le magnétomètre. On plaçait, d'abord seul, l'aimant à étudier à une distance de 0,5 cm du magnétomètre, et on observait la déviation, ce qui permettait d'avoir l'intensité d'aimantation à la température ordinaire. Puis, l'aimant était introduit dans la bobine chauffante et porté à 29 cm du magnétomètre. L'autre aimant était alors placé dans une position symétrique, pour compenser l'action de l'aimant étudié, à la température ordinaire. La compensation obtenue, on élevait lentement la température du premier aimant entre 20° et 100°. On observait les déviations du magnétomètre pendant le chauffage et aussi pendant le refroidissement. Mêmes mesures pour diverses valeurs du champ magnétisant.

Les courbes représentant les résultats obtenus montrent que, dans l'étude des températures étudiées, l'intensité d'aimantation varie linéairement avec la température, et qu'il ne se manifeste pas d'hystérésis de température sensible.

Le coefficient de température s'accroît linéairement avec le champ agissant dans la direction opposée à l'aimantation. Le coefficient de température ne caractérise la substance de l'aimant que si celui-ci est infiniment long et sans champ appliqué.

Ainsi, les prévisions de la théorie proposée se trouvent pleinement confirmées par ces expériences. — L. B.

(1) Des échantillons de fer, plongés dans de l'eau pure depuis de longues années, sont conservés à la Sorbonne, au laboratoire de M. Le Châtelier, et ne présentent aucune altération; d'autres échantillons, plongés dans de l'eau contenant en dissolution du gaz carbonique, sont recouverts de rouille. On assimile généralement la rouille à un hydrocarbonate de fer (note du traducteur).

(2) K. HONDA et T. MATSUMURA, *Science reports of the Tohoku imperial university*, t. X, décembre 1921, p. 417-421, 3 fig.

SECTION INDUSTRIELLE

Note sur les tarifs de vente de l'énergie électrique

L'auteur expose, dans cet article, en premier lieu, de quelle manière il a été possible, dans quelques pays, de modifier les contrats de vente d'énergie électrique devenus trop onéreux du fait de la guerre. Il étudie, ensuite, les conditions que doivent remplir les tarifs de vente et discute les principaux tarifs en usage.

I. Introduction. — Nous n'avons pas l'intention de donner une nouvelle formule ou d'établir une nouvelle théorie pour la fixation des tarifs de vente d'énergie électrique ; nous nous contenterons d'exposer quelques réflexions qui nous ont été suggérées par l'étude des tarifs appliqués par un grand nombre d'entreprises électriques de distribution dans plusieurs pays.

Le problème de la fixation des tarifs de vente se ramène à la fixation du prix de revient de l'énergie. La difficulté consiste à prévoir quel sera ce prix de revient, afin de pouvoir établir à l'avance le prix de vente. Un commerçant attend généralement d'avoir en magasin sa marchandise pour en fixer le prix de vente ; il peut établir ainsi exactement le prix de revient. Il n'en est pas de même pour l'entreprise qui vend de l'énergie électrique : celle-ci ne peut être emmagasinée ; l'entreprise de distribution est donc obligée d'admettre un prix de revient probable et de fixer ses tarifs sur cette base. Avant la guerre, il était possible d'admettre, avec une grande approximation, un prix de revient probable de l'énergie et d'établir ainsi des tarifs sans grand risque. C'est ainsi que les entreprises électriques ont pu signer des polices à longue échéance ou des contrats de concession de longue durée, dans lesquels les tarifs étaient fixés. Des polices de dix, vingt ans ou même davantage étaient d'usage courant. D'après un auteur allemand, c'est à l'existence de ces polices à longue échéance qu'il faut attribuer, pour une grande part, le développement formidable de l'industrie allemande pendant les dix années qui ont précédé la guerre.

La condition essentielle pour l'établissement de tarifs liant l'entreprise pour plusieurs années est la stabilité du prix de revient du courant qu'elle livre. Avant la guerre, cette stabilité existait, maintenant elle n'existe plus. Dans ces conditions, les entreprises électriques se sont vues dans l'obligation, premièrement de liquider leur situation ancienne, c'est-à-dire de modifier ou résilier les anciens contrats conclus soit avec des communes, soit avec des particuliers ; en second lieu, d'établir de nouveaux tarifs en tenant compte de facteurs variables avec le temps et imprévi-

sibles, tels que le coût du combustible et le prix de la main-d'œuvre.

Nous nous proposons d'indiquer, en premier lieu, rapidement ce qui a été fait dans quelques pays pour la liquidation de la situation ancienne ; nous rappellerons, ensuite, les principes qui doivent servir à la fixation des nouveaux tarifs.

II. Liquidation de la situation d'avant-guerre.

1. — **EN FRANCE.** — Beaucoup d'entreprises ont pu faire usage de la loi Failliot du 23 janvier 1918 permettant de résilier les contrats conclus avant la guerre, si, du fait de la guerre, l'exécution du contrat cause à l'une des parties un préjudice dépassant de beaucoup les prévisions. En outre, la circulaire ministérielle du 9 avril 1920 a institué les commissions consultatives. Il est regrettable que les décisions prises par ces commissions ne soient souvent pas acceptées par des communes qui refusent d'en tenir compte.

2. **EN ITALIE.** — Un décret du 10 février 1918 autorise les entreprises à faire payer un supplément pour tous les kilowatts-heure produits à la vapeur. Un décret du 31 octobre 1919 permet, pour tous les contrats conclus avec tarifs d'avant-guerre, d'augmenter le prix du courant de 25 pour 100 pour des puissances abon-
nées de moins de 100 kw et institue des commissions remplissant l'office de tribunaux d'arbitrage pour les puissances supérieures à 100 kw. Un décret du 13 mars 1921 permet une nouvelle augmentation des tarifs de 50 pour 100.

3. **EN ALLEMAGNE.** — Une ordonnance du 1^{er} février 1919 institue des tribunaux d'arbitrage ; les entreprises peuvent faire des propositions à un tribunal d'arbitrage pour la modification du prix de vente du courant. Les membres de ces tribunaux sont choisis par les parties sur des listes publiées par le Gouvernement. Les décisions prises n'ont pas d'effet rétroactif, mais elles ont force de loi et sont sans appel. De nombreuses circulaires ministérielles donnent des directives sur le mode de fonctionnement de ces tribunaux.

4. **EN AUTRICHE.** — Le règlement du 13 décembre 1919 ressemble, dans ses grandes lignes, à l'ordonnance

allemande. La revision d'une police peut être demandée lorsque le prix de revient du courant a augmenté ou diminué de 20 pour 100.

III. Conditions que doivent remplir les tarifs de vente. — Comme nous l'avons dit, la première tâche des entreprises électriques a été de chercher à résilier ou modifier les anciens contrats trop désavantageux pour elles; leur seconde tâche consiste à remplacer ces contrats par d'autres conçus de telle sorte qu'ils ne leur fassent plus courir les mêmes risques.

Le prix de vente du courant doit être tel que les recettes couvrent les frais d'exploitation (production, transmission, distribution, entretien, réparations, frais généraux), les dépenses financières et donnent, en outre, un bénéfice permettant d'amortir les installations et de rémunérer les propriétaires ou actionnaires de l'entreprise.

Si nous analysons les différents postes des dépenses d'une entreprise électrique, nous voyons que certaines dépenses sont variables avec le nombre de kilowatts-heure vendus; d'autres, avec le nombre de kilowatts de charge maximum. Certains postes de dépenses sont, en outre, variables avec le temps et ces variations avec le temps sont beaucoup plus dangereuses que les premières, parce qu'elles sont imprévisibles. On peut prévoir, approximativement, quelles seraient les dépenses de combustibles ou de transmission pour une vente de 20, 30, 40 millions de kilowatts-heure annuels en admettant un prix de charbon fixe, mais l'incertitude commence dès que l'on fait intervenir les variations de prix avec le temps.

Nous commencerons notre étude sans tenir compte du facteur temps, c'est-à-dire que nous procéderons comme pour l'intégration d'une équation à deux variables indépendantes, en admettant que l'une des variables est constante. Nous supposons donc les prix du charbon, de la main-d'œuvre, etc., invariables.

Si le développement de l'entreprise était arrêté et si les chiffres aussi bien des kilowatts de charge maximum que des kilowatts-heure vendus et du $\cos \varphi$ moyen ne variaient pas ou variaient peu d'une année à l'autre, il est bien évident que la forme du tarif serait sans importance. On pourrait vendre l'énergie uniquement au compteur, à un prix égal au quotient des dépenses totales annuelles, plus bénéfice normal par le nombre de kilowatts-heure vendus, ou, encore, uniquement à forfait, en fixant pour le prix du kilowatt abonné un chiffre égal au quotient des dépenses totales, plus bénéfice normal par le nombre des kilowatts abonnés, ou encore suivant un tarif quelconque mixte tel que les recettes totales soient égales aux dépenses totales, plus bénéfice normal.

Que se passera-t-il, en réalité, si l'on applique uniquement un tarif au compteur pur, c'est-à-dire un tarif suivant lequel le consommateur ne paie que le nombre de kilowatts-heure réels consommés par lui? Le premier résultat sensible sera une augmentation de la pointe, c'est-à-dire de la charge du soir, d'où augmen-

tation de la charge maximum de la centrale, c'est-à-dire nécessité d'installer des machines plus puissantes, nécessité de renforcer les lignes, etc., sans pour cela vendre davantage de kilowatts-heure, c'est-à-dire sans augmentation de recettes.

Si l'on applique un tarif à forfait simple, c'est-à-dire en faisant payer uniquement la puissance abonnée, sans compteur, le résultat immédiat sera une augmentation du nombre de kilowatts-heure débités, c'est-à-dire une augmentation de la quantité de charbon consommée ou de la quantité d'eau dans le cas d'une centrale hydraulique.

Avec l'un comme l'autre des deux systèmes de tarifs que nous venons d'indiquer, le $\cos \varphi$ du réseau sera mauvais, parce que les abonnés payant soit des kilowatts-heure, soit des kilowatts n'ont aucun intérêt à améliorer leur $\cos \varphi$.

On voit immédiatement que le tarif devra remplir les conditions suivantes :

1° Si la charge augmente, les kilowatts-heure vendus restant constants, c'est-à-dire si la courbe journalière de charge des usines devient plus mauvaise, il faut que les recettes augmentent et que cette augmentation corresponde au moins à l'augmentation des dépenses résultant de machines plus puissantes et de lignes plus fortes.

2° Si le nombre de kilowatts-heure vendus augmente, la charge maximum restant constante, il faut que les recettes augmentent de manière à compenser les frais d'exploitation supérieurs résultant d'une plus grande consommation de charbon, etc ;

3° Si les kilowatts-heure et la charge maximum augmentent en même temps, ce qui correspond au développement normal de l'entreprise, il faut que l'augmentation des recettes qui en résulte corresponde à l'augmentation des dépenses de nouvelle immobilisation pour centrales et lignes et à l'augmentation des frais de charbon, main-d'œuvre, etc ;

4° Enfin, il sera nécessaire de prendre des dispositions pour éviter que le $\cos \varphi$ soit mauvais et nous renvoyons pour cette question à notre article du 23 avril 1921 (1).

Les considérations que nous venons d'exprimer paraîtront évidentes à beaucoup, mais si l'on examine les tarifs appliqués par une grande quantité de centrales électriques, on verra combien il en est souvent peu tenu compte. On s'en est aperçu lorsque la journée de huit heures a été introduite dans plusieurs pays; les courbes de charge des centrales ont été modifiées d'un jour à l'autre; il en est résulté de grosses pertes pour beaucoup de centrales dont les tarifs de vente n'avaient pas été établis d'une manière rationnelle et ne répondaient pas à la première condition ci-dessus.

IV. Bases nécessaires pour la fixation d'un tarif de vente rationnel. — Il n'est pas possible d'établir un schéma de tarifs applicable à toutes les cen-

(1) R. G. E., 23 avril 1921, t. IX, p. 572.

trales. La fixation des tarifs nécessite, de la part de l'ingénieur qui est chargé de ce service, une étude approfondie des conditions spéciales à chaque entreprise.

La base de cette étude est l'établissement du prix de revient du kilowatt-heure et du prix de revient du kilowatt de charge maximum des centrales. Ce n'est que lorsqu'il aura sous les yeux ces deux prix de revient, que l'ingénieur chargé des tarifs pourra établir des tarifs rationnels.

Pour établir le prix de revient du kilowatt-heure et le prix de revient du kilowatt de charge maximum, il faut établir une liste des dépenses annuelles de l'entreprise, y compris le détail des dépenses financières. Cette liste sera dressée soit en portant les dépenses réelles de la dernière année, soit en admettant des chiffres de dépenses probables.

Les dépenses seront réparties en trois catégories :

1° Dépenses fixes indépendantes du nombre de kilowatts-heure vendus et du nombre de kilowatts de charge maximum ;

2° Dépenses proportionnelles au nombre de kilowatts-heure vendus ;

3° Dépenses proportionnelles au nombre de kilowatts de charge maximum.

Il y a certainement beaucoup d'arbitraire dans cette répartition, car, si les dépenses de charbon, par exemple, sont bien à peu près proportionnelles au nombre de kilowatts-heure vendus, il en est d'autres qui varient soit avec les kilowatts-heure, soit avec les kilowatts, sans leur être proportionnelles. Nous avons parlé de kilowatts-heure vendus et non produits en admettant les kilowatts-heure vendus proportionnels aux kilowatts-heure produits.

Comme nous le verrons plus loin en étudiant les différents systèmes de tarifs en usage, ils consistent, pour la plupart, à faire payer au consommateur une indemnité *A* pour les kilowatts-heure qu'il a absorbés et une indemnité *B* pour la puissance des machines et la partie du réseau qu'il immobilise.

Pour remplir les conditions énoncées au chapitre précédent, il faut que le total des indemnités *A* couvre les dépenses que nous avons classées sous « dépenses proportionnelles au nombre de kilowatts-heure vendus » et que le total des indemnités *B* couvre les dépenses classées sous « dépenses proportionnelles au nombre de kilowatts de charge maximum ». Comment seront couvertes les dépenses fixes ? Nous remarquerons, en premier lieu, que ces dépenses sont faibles par rapport aux dépenses variables avec les kilowatts-heure et avec les kilowatts. Elles devront être couvertes soit par les indemnités *A*, soit par les indemnités *B*. Si nous faisons couvrir ces dépenses fixes par les indemnités *A*, en faisant payer plus cher les kilowatts-heure vendus, il en résultera que toute augmentation de vente du nombre de kilowatts-heure augmentera les bénéfices, même si la charge maximum ne change pas. Si nous faisons couvrir ces dépenses par les indemnités *B*, en faisant payer plus cher les kilowatts de charge ou les kilowatts abonnés, toute augmentation du nombre de ces kilo-

watts augmentera les bénéfices quelles que soient les variations de la vente des kilowatts-heure. Il y aura aussi là une question d'opportunité ; si la centrale est très limitée dans ses disponibilités d'énergie, elle devra chercher à réduire la pointe ; on ajoutera alors les dépenses fixes aux dépenses variant avec les kilowatts.

Pour avoir le prix de revient du kilowatt-heure vendu et le prix de revient du kilowatt de charge maximum de la centrale, il ne reste plus qu'à diviser le chiffre total des dépenses variables avec les kilowatts-heure (majorées ou non des dépenses fixes) par le nombre de kilowatts-heure prévu pour la vente et le chiffre total des dépenses variables avec les kilowatts (majorées ou non des dépenses fixes) par le nombre de kilowatts prévu comme charge maximum. Les deux chiffres ainsi trouvés, que nous appellerons le prix de revient du kilowatt-heure et le prix de revient du kilowatt de charge maximum, serviront de base pour la fixation des tarifs.

Ces prix de revient sont calculés sans tenir compte du bénéfice que l'entreprise se croit en droit de retirer de son exploitation. Pour obtenir les prix moyens de vente, ces prix de revient seront majorés du bénéfice que l'on veut tirer de la vente du kilowatt-heure et du kilowatt de charge maximum. Là aussi c'est la question d'opportunité qui indique comment doivent être répartis les bénéfices entre les kilowatts-heure et les kilowatts.

V. Différentes catégories de courant vendu. —

Nous avons obtenu une base pour la fixation des tarifs, cette base c'est le prix moyen auquel doit être vendu le kilowatt-heure et le prix moyen auquel doit être vendu le kilowatt de charge maximum des centrales. Les tarifs normaux comprendront donc deux termes, le premier est facile à établir, on pourra introduire directement dans les tarifs le prix moyen que nous avons trouvé comme prix de vente du kilowatt-heure. Le second terme est plus difficile à établir, car il faut connaître pour cela quel est le rapport entre les kilowatts abonnés, ou entre les kilowatts de charge maximum de l'abonné, ou entre le nombre d'heures d'utilisation ⁽¹⁾ de la force par l'abonné et la fraction des kilowatts de charge maximum que cet abonné représente pour la centrale. Ce rapport dépend essentiellement de l'emploi qui est fait de l'énergie. L'entreprise de distribution vend du courant pour la lumière, pour la force motrice, pour le chauffage, pour l'électrochimie, pour la traction ; elle vend du courant de 24 heures ou de jour ou de nuit ou de 12 heures, du courant d'été et du courant d'hiver, etc.

Toutes ces catégories de courant ne peuvent être tarifées de la même manière et il convient d'étudier quelle est la part de chaque catégorie d'abonnés dans la charge maximum de la centrale. Considérons quel-

⁽¹⁾ Le nombre d'heures d'utilisation est le quotient du nombre de kilowatts-heure absorbés annuellement par la charge maximum de l'année.

ques exemples : un abonné absorbe une puissance à peu près constante de 24 heures pour la force motrice. Son maximum de charge peut se produire en même temps que le maximum de charge de la centrale ; le prix moyen de vente trouvé pour le kilowatt de charge maximum de la centrale peut être appliqué au kilowatt de charge maximum de l'abonné (en tenant compte du rendement de la distribution). Un abonné qui absorbe une puissance de 12 heures entre 8 et 20 heures est dans le même cas, puisque son maximum de charge peut avoir lieu également pendant la pointe. Un abonné, par contre, utilisant la force motrice pour des moteurs agricoles fonctionnant de jour seulement, n'absorbe rien pendant la pointe. Il sera possible de réduire beaucoup, pour cette catégorie d'abonnés, le deuxième terme du tarif ; ce terme pourra même, dans certains cas, être supprimé, l'abonné ne payant alors l'énergie qu'il consomme qu'au kilowatt-heure. Il faut cependant tenir compte que, si la charge d'un abonné de cette catégorie est sans effet sur la charge maximum de la centrale, elle peut avoir un effet sur la charge maximum d'une partie du réseau.

Il y a, naturellement, une part d'arbitraire dans l'établissement des tarifs ; considérons, par exemple, deux abonnés chacun de 1 000 kw, la puissance étant utilisée par le premier de 4 à 16 heures ; par le second, de 16 à 4 heures. Il nous paraît juste de leur faire payer à tous deux le même prix pour la consommation par kilowatt-heure, mais la question est plus délicate en ce qui concerne l'indemnité qu'ils auront à payer pour la charge en kilowatts. Une machine de 1 000 kw dans la centrale suffit à alimenter les deux abonnés au rendement de la distribution près. Ces 1 000 kw sont vendus deux fois. Nous avons trouvé que ces 1 000 kw installés devraient rapporter une certaine somme bien déterminée ; comment faut-il répartir cette somme entre les deux abonnés ? Faut-il la faire payer entièrement par l'abonné qui absorbe de la puissance pendant les heures de pointe, ou la répartir également, ou la répartir suivant un certain rapport à déterminer entre les deux abonnés ? Il n'est pas possible d'établir une règle fixe. Il faudra, là encore, tenir compte de questions d'opportunité en considérant les conditions particulières de chaque entreprise.

Nous allons indiquer quelques-uns des très nombreux schémas de tarifs en usage, en premier lieu, pour la lumière et, en second lieu, pour la force motrice. Nous négligerons encore les termes correctifs qu'il sera nécessaire d'introduire dans les tarifs pour tenir compte des variations des prix de revient du courant avec le temps. Cette question fera l'objet d'un chapitre spécial. Nous ne nous occuperons pas non plus des termes correctifs à introduire pour tenir compte du cos ϕ de l'abonné, cette question a été traitée dans un article précédent.

VI. Tarifs en usage pour la lumière. — Le courant pour la lumière est le courant qui coûte le plus cher à une entreprise de distribution. Les frais de pro-

duction proprement dit, c'est-à-dire les frais proportionnels au nombre de kilowatts-heure ne sont pas plus élevés, mais les frais par kilowatt de charge maximum sont supérieurs à ceux de toutes les autres catégories de courant. La première cause consiste dans le petit nombre d'heures d'utilisation de la charge maximum correspondant à la lumière. Une autre cause consiste dans le grand nombre de petits abonnés correspondant à de faibles consommations par abonné. Les frais de distribution sont, par ce fait, très élevés. Il faut cependant remarquer et tenir compte en établissant les tarifs lumière, que les kilowatts installés pour la lumière pourront peut-être être utilisés en dehors des heures d'éclairage pour l'électrochimie, pour le pompage, pour le chauffage ou toute autre utilisation ; ces kilowatts seront ainsi vendus deux fois.

Le tarif mixte n'est que rarement utilisé pour la lumière, parce qu'il est difficile à appliquer et ne présente pas les mêmes avantages que pour la force motrice. Comme nous l'avons vu, l'inconvénient du tarif au compteur pur réside dans le fait qu'il amène à une augmentation de la charge maximum, c'est-à-dire à une réduction des heures d'utilisation. Ceci n'est pas le cas pour la lumière, car, avec ou sans tarif mixte, la charge maximum se produit au moment le plus défavorable, c'est-à-dire à partir de la tombée de la nuit.

Nous avons trouvé quels devraient être les prix de vente moyens du kilowatt-heure et du kilowatt de charge maximum. Si pour la lumière on ne fait pas payer les kilowatts de charge maximum, il faut majorer en conséquence le prix du kilowatt-heure.

Les tarifs au forfait sont encore appliqués par un certain nombre d'entreprises de distribution. Suivant les conditions locales, ils sont parfaitement justifiés pour une entreprise disposant d'une centrale hydraulique. Ces tarifs conduisent à une augmentation du nombre d'heures d'utilisation des kilowatts, par le fait que des lampes sont souvent allumées lorsque ce n'est pas indispensable et restent même allumées pendant la journée ou pendant toute la nuit. Si la centrale hydraulique dispose de force inutilisée en dehors des heures de pointe, ce fait ne lui cause pas de préjudice. Le gaspillage de lumière peut d'ailleurs être réduit si l'entreprise de distribution attire l'attention de ses abonnés sur l'usure plus rapide des lampes et leur remplacement plus fréquent, remplacement qui doit être dans tous les cas à la charge de l'abonné. Dans certaines régions rurales, les paysans acceptent beaucoup plus volontiers un tarif à forfait parce qu'ils savent exactement ce qu'ils auront à déboursier chaque mois. Ce système a également l'avantage d'économiser les frais de pose, location et relevés de compteurs, principalement à la campagne lorsque les abonnés sont très disséminés. La fraude peut être presque complètement évitée par l'emploi de douilles spéciales, différentes pour chaque intensité de lampe, plombées par l'entreprise et qui sont d'un usage courant. Le contrôle peut aussi être effectué grâce à l'emploi de limiteurs de courant provoquant une interruption

totale ou partielle de courant, lorsque celui-ci dépasse le chiffre abonné. Les expériences faites avec ces appareils n'ont pas toujours été bonnes à cause de leur construction délicate.

La plupart des entreprises de distribution ont adopté, pour la lumière, la vente au compteur avec prix unique par kilowatt-heure. Dans quelques cas, on trouve encore dans les tarifs un chiffre de minimum de consommation qui doit être atteint par l'abonné.

Pour réduire dans la mesure du possible la pointe et éviter à ce moment le branchement sur le réseau lumière d'appareils de chauffage domestique, beaucoup de centrales ont adopté le système de compteurs multiples avec deux ou même quatre tarifs différents suivant les heures de la journée. Ce système, qui a donné de très bons résultats, est de plus en plus appliqué en Suisse.

Les tarifs dégressifs avec un prix par kilowatt-heure diminuant lorsque la consommation augmente sont appliqués par un certain nombre de centrales. Ce système de tarif tient compte ainsi, dans une certaine mesure, de la diminution des frais de distribution par kilowatt-heure pour les plus gros consommateurs.

Nous avons dit que le tarif mixte était peu employé pour la lumière, il y a cependant quelques centrales qui admettent une variation du prix de base du kilowatt-heure avec le nombre d'heures d'utilisation. Nous examinerons plus en détail, avec les tarifs de force motrice, ce système de tarif qui constitue une des formes du tarif mixte.

VII. Tarifs en usage pour la force motrice. —

Le tarif à forfait simple est peu employé pour la force. Il se justifie dans des cas spéciaux. Considérons, par exemple, une entreprise électrique possédant une usine sur une rivière sans accumulation possible. On peut arriver, en examinant les différents postes de dépenses, à la conclusion que le prix de revient du kilowatt-heure est très faible, les kilowatts de charge maximum intervenant presque exclusivement dans les dépenses. L'entreprise a tout intérêt à réduire le plus possible la pointe et peut être amenée à vendre exclusivement son courant à forfait en faisant des prix de forfait spéciaux pour l'utilisation du courant en dehors des heures de pointe.

Beaucoup d'entreprises vendent le courant pour la force au kilowatt-heure seulement, en installant un compteur ordinaire. Nous avons déjà montré les inconvénients de ce mode de tarification qui, à notre avis, n'est justifié que pour de petites puissances et aussi dans le cas où l'emploi de l'énergie est tel que le nombre d'heures d'utilisation soit fixé par la nature même de cette utilisation. Parfois, les tarifs prévoient un minimum de consommation qui, dans une certaine mesure, peut indemniser la centrale des inconvénients que présente pour elle ce genre de tarif. Comme pour la lumière, le prix du kilowatt-heure peut être fixé par une échelle variable soit avec la consommation men-

suelle ou annuelle, soit avec les heures de la journée, soit encore avec la saison. Ce n'est qu'une étude détaillée des dépenses d'exploitation, des courbes de charge des centrales et du genre d'utilisation de l'énergie qui peut faire adopter l'une ou l'autre de ces échelles de prix.

Les tarifs les plus employés sont des tarifs mixtes dont nous allons donner quelques schémas les plus souvent utilisés :

1° Tarif au compteur de kilowatts-heure avec, en outre, taxe fixe par kilowatt de charge maximum de l'abonné, celle-ci étant mesurée par un compteur spécial enregistreur le maximum moyen d'un quart d'heure. Ce système de tarif est de plus en plus employé. Les prix de base du kilowatt-heure et du kilowatt de charge maximum doivent être établis en partant des considérations énoncées au paragraphe « Différentes catégories de courant vendu ».

Remarquons à ce sujet que, si l'on étudie de près les dépenses que nous avons désignées par « dépenses variables avec le nombre de kilowatts de charge maximum de la centrale », on s'aperçoit que ces dépenses sont presque toutes variables non pas seulement avec les kilowatts, mais plutôt avec les kv-a, c'est-à-dire avec $\frac{kw}{\cos \varphi}$. Il est donc normal d'établir un tarif dans lequel

l'abonné paierait, outre les kilowatts-heure consommés, les kilovolts-ampères de charge maximum au lieu des kilowatts de charge maximum. Il faut cependant tenir compte du fait que c'est en général au moment où la charge de l'abonné est maximum que le $\cos \varphi$ de son installation est le meilleur. L'abonné peut ainsi, malgré ce tarif, marcher à faible charge avec un nouveau $\cos \varphi$ sans rien payer de plus.

2° Tarif au compteur de kilowatts-heure avec, en outre, une taxe fixe par kilowatt abonné. Pour éviter que l'abonné n'absorbe une puissance supérieure à la puissance abonée, il est nécessaire de placer un appareil spécial à cet effet, un interrupteur automatique par exemple.

Ce tarif est analogue au précédent. Le problème, pour la fixation des prix de base de ce tarif, consiste à trouver la relation entre les kilowatts abonnés et la charge maximum de la centrale.

3° Tarif au kilowatt-heure, le prix du kilowatt-heure variant avec le nombre d'heures d'utilisation. Ce mode de tarification est analogue au premier; il lui est équivalent si l'échelle des prix du kilowatt-heure est convenablement choisie.

Désignons par x le prix variable du kilowatt-heure qui devra être porté sur l'échelle. Soit a le prix du kilowatt-heure suivant le tarif 1, établi d'après l'étude faite plus haut; b , le prix du kilowatt de charge maximum établi de la même manière; n , le nombre de kilowatts-heure consommés par un abonné pendant l'année; m , la charge maximum de cet abonné. Le nombre d'heures d'utilisation est $h = \frac{n}{m}$. Pour que le

prix payé par l'abonné soit le même suivant les deux tarifs, il faut que

$$an + bm = nx,$$

$$x = a + b \frac{m}{n} = a + \frac{b}{h},$$

C'est la formule qui donne le prix du kilowatt-heure en fonction du nombre d'heures d'utilisation h .

Il existe encore un très grand nombre de formes de tarifs pouvant être toutes plus ou moins ramenées à l'une des modalités indiquées ci-dessus. Nous ne nous attarderons pas à les décrire pour ne pas allonger inutilement cet exposé,

VIII. Variation du prix de revient de l'énergie avec le temps. — Nous avons admis jusqu'à maintenant que l'on pouvait, pour la fixation des tarifs, se baser sur des prix invariables de charbon, main-d'œuvre, etc. Or, les variations ont été si grandes depuis le commencement de la guerre, qu'il faut admettre qu'elles continueront à se produire.

Pendant la guerre déjà, beaucoup d'entreprises ont commencé à introduire, dans leurs nouveaux contrats de vente, une clause dite de charbon, spécifiant que le prix du kilowatt-heure était susceptible de variations avec les prix du charbon. Cette clause est encore maintenant insérée dans la plupart des nouveaux contrats. On s'est cependant rendu compte que cette clause de charbon n'était pas suffisante pour tous les cas, car le charbon n'intervient que pour une partie dans les prix de revient du courant.

On a souvent admis que les dépenses autres que les dépenses de charbon variaient proportionnellement aux prix du charbon et que la clause de charbon suffisait pour garantir la centrale. Prenons un exemple : une entreprise applique la clause de charbon suivante : Pour chaque franc d'augmentation du prix de la tonne

de charbon franco-centrale, au-dessus de 18 fr le prix de vente du kilowatt-heure est augmenté de 0,0020 fr. La centrale en question brûle en moyenne 1,5 kg de charbon par kilowatt-heure vendu. Le prix de revient du kilowatt-heure est donc augmenté de 0,0015 fr pour 1 fr d'augmentation du prix de la tonne de charbon ; il y a ainsi une marge de 0,0005 fr entre l'augmentation du prix de revient et l'augmentation du prix de vente du kilowatt-heure. Cette marge était destinée à compenser l'augmentation du prix de revient du fait de la hausse des salaires, etc. Lorsque le tarif a été institué, cette marge était suffisante, maintenant elle ne l'est plus.

L'expérience a montré que les variations de prix du charbon n'ont pas suivi, dans tous les pays, la même courbe que les variations de prix de la main-d'œuvre, c'est ce qui a amené en France le Comité d'Electricité à proposer l'institution de l'index économique. Nous ne nous attarderons pas sur l'exposé et la discussion de cet index économique qui est bien connu.

Ajoutons, cependant, que le système de tarif avec index économique est certainement celui qui expose l'entreprise de distribution au minimum de risques, à condition d'être appliqué avec intelligence et d'être adapté aux conditions spéciales de chaque entreprise. L'application de ce tarif ne dispense pas de l'étude approfondie des dépenses d'exploitation et de la courbe de charge des centrales. Il y aura lieu, lorsque l'on appliquera les tarifs mixtes, d'étudier s'il ne convient pas également de faire varier le prix du kilowatt de charge maximum.

Nous ne croyons pas que l'application d'un index économique ou d'un système de tarif analogue soit d'un usage courant ailleurs qu'en France. En Italie et en Allemagne, en particulier, on se contente généralement d'une clause de charbon.

Maurice KOEHLIN,
Ingénieur à Bâle.

A propos d'abaques pour le calcul des garanties des transformateurs

Dans une étude antérieure, publiée dans la « Revue générale de l'Electricité », l'auteur avait donné un certain nombre d'abaques permettant de déterminer rapidement les rendements et chutes de tensions de transformateurs sous différentes charges et différents déphasages en partant des données de construction et des résultats d'essais. L'étude ci-après est une rectification de deux des abaques précédemment décrits.

Les deux abaques relatifs aux rendements que nous avons publiés dans la « Revue générale de l'Electricité » du 30 novembre 1918 t. IV, p. 817 à 821 ne sont qu'approximés. L'approximation, pratiquement suffisante lorsque les pertes totales ne dépassent pas 3 pour 100 des kilowatts-ampères secondaires effectifs, ne peut plus convenir pour des pertes de valeur plus élevée. Ce

fait nous a été signalé en 1920 par la Chambre syndicale des Constructeurs de gros Matériel électrique qui a bien voulu faire bon accueil à notre travail en nous demandant de publier séparément ces abaques. Nous pensons que ce Groupement a effectué pour son compte la rectification, le temps nous ayant manqué pour le faire nous-mêmes à l'époque. Nous tenons toutefois

pour les lecteurs de la « R. G. E. » à donner dans la présente note les abaques exacts pour le calcul des rendements des transformateurs.

Si nous désignons par ρ le rendement et par α les pertes totales rapportées à la puissance secondaire effective, nous avons :

$$\rho = \frac{1}{1 + \alpha} = 1 - \alpha + \alpha^2. \quad (1)$$

L'approximation faite dans l'article précité a consisté à négliger le terme α^2 et les suivants et à écrire pour la valeur approchée du rendement :

$$\rho' = 1 - \alpha. \quad (2)$$

Les deux quantités ρ et ρ' sont liées par la relation suivante obtenue en éliminant α entre (1) et (2).

$$\rho = \frac{1}{2 - \rho'}. \quad (3)$$

La rectification consiste en une regraduation des échelles des rendements dans les deux abaques en question, travail que l'on peut effectuer à partir des anciennes échelles en se servant de la formule (3). On remarquera que ces échelles qui dans les premiers

mule (2) donnent des valeurs de rendement inférieures aux valeurs exactes indiquées par les abaques ci-dessous (formule 1).

L'abaque n° 3 (fig. 1) est destiné à remplacer celui publié sous le titre abaque n° 2 de la figure 4 du numéro « R. G. E. » du 30 novembre 1918, p. 819.

Nous rappellerons, par un exemple, l'emploi de cet abaque. Après avoir déterminé les pertes dans le fer et dans le cuivre, on reportera leurs valeurs respectives sur les deux échelles extrêmes de l'abaque 3. Soient 0,86 pour 100 les pertes dans le fer et 1,92 pour 100 celles dans le cuivre ; la droite joignant les deux points correspondants permet d'obtenir immédiatement, par simple lecture sur les échelles intermédiaires, les rendements pour différentes charges et pour deux valeurs de $\cos \varphi$ ainsi qu'il est résumé dans le tableau suivant :

| CHARGE | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{3}{4}$ | $\frac{1}{1}$ | $\frac{5}{4}$ |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| $\cos \varphi = 1 \dots$ | 96,2 | 97,37 | 97,48 | 97,3 | 97 |
| $\cos \varphi = 0,8 \dots$ | 95,3 | 96,7 | 96,85 | 96,6 | 96,28 |

L'abaque n° 4 (fig. 2), destiné à remplacer celui publié sous le titre abaque n° 3 de la figure 5 du numéro

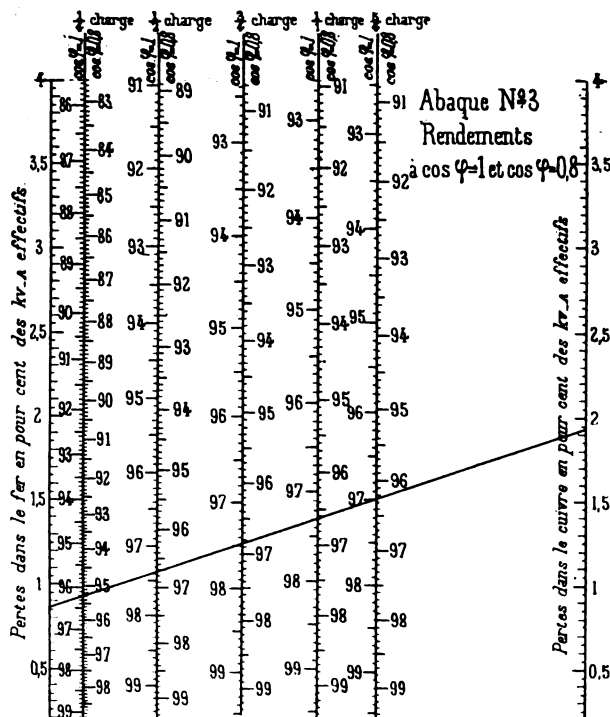


Fig. 1.

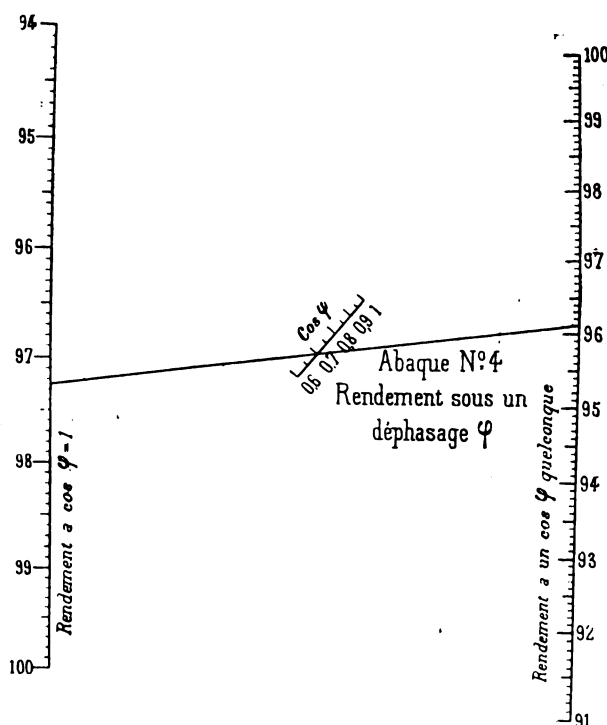


Fig. 2.

abaques sont à graduation proportionnelle ne le sont plus dans les abaques exacts.

Il est à noter aussi que les abaques approchés (for-

« R. G. E. » du 30 novembre 1918, p. 820, permet de calculer le rendement à pleine charge pour un déphasage quelconque, connaissant le rendement à pleine

charge pour un $\cos \varphi$ égale à 1, rendement déduit de l'abaque précédent.

Soit, par exemple, 97,26 pour 100 le rendement à pleine charge pour un $\cos \varphi$ égale à 1 et proposons-nous de déterminer quelle sera sa nouvelle valeur pour $\cos \varphi = 0,7$. Sur l'échelle de gauche, on portera la valeur 97,26 et l'on joindra ce point à celui représenté par la valeur

0,7 de l'échelle centrale. En prolongeant la ligne ainsi obtenue jusqu'à sa rencontre avec l'échelle de droite, on lira la valeur 96,1. Le rendement pour $\cos \varphi = 0,7$ est donc égal à 96,1 pour 100.

L. DUBAR,
Ingénieur E. C. P. et E. S. E.,
Licencié ès sciences.

Revue, analyses et informations

Le fonctionnement du tube modulateur en radiotéléphonie ⁽¹⁾.

Le rôle d'un appareil modulateur en radiotéléphonie consiste à faire varier le courant débité par un générateur radiotélégraphique, à une fréquence ou à des fréquences plus basses que la radiofréquence engendrée. Pratiquement, toutes les radiocommunications employant une seule longueur d'onde se font par une méthode de modulation. Dans la transmission par ondes entretenues, la manipulation constitue une modulation par traits et par points du courant dans l'antenne. Dans les émetteurs à étincelles, les trains d'onde de radiofréquence sont émis à des intervalles plus ou moins réguliers à une fréquence audible, de sorte que l'on entend un son dans un téléphone après redressement à l'aide d'un détecteur. Outre cette modulation, il existe encore dans ce cas une seconde modulation par traits et par points. En radiotéléphonie, on fait varier le courant dans l'antenne avec des fréquences et des valeurs correspondant aux hauteurs et intensités des ondes sonores produites par la voix. Il en résulte qu'après redressement des signaux reçus, on obtient, dans les téléphones récepteurs, des courants électriques qui sont précisément de même nature que ceux qui seraient produits dans la même communication par téléphonie avec fil.

MÉTHODES DE MODULATION. — Quand l'appareil générateur d'oscillations entretenues est un tube à vide, la modulation se fait généralement au moyen d'une des trois méthodes suivantes :

1° La plus simple consiste à créer une absorption variable de la puissance de radiofréquence débitée par le circuit. On peut, par exemple, shunter le tube générateur par un autre tube à vide ; on fait varier la tension de grille de ce tube d'absorption selon les fréquences de la voix, à l'aide d'un microphone et d'un petit transformateur ; on peut aussi, plus simplement, insérer un microphone dans l'antenne. Ces méthodes d'absorption sont assez rarement employées en pratique, surtout parce que le dispositif générateur doit produire une puissance beaucoup plus grande que celle réellement utilisée par l'antenne.

2° La deuxième méthode consiste à faire varier la tension de grille d'un tube générateur selon les fréquences de voix. Dans ce cas, le secondaire d'un transformateur est inséré dans le circuit de grille, ce secondaire étant shunté par un condensateur pour que le fonctionnement du circuit générateur ne soit pas influencé par la réactance élevée des enroulements de transformateur. Un microphone et une batterie dans le pri-

maire du transformateur permettent d'obtenir des variations dans la tension de grille moyenne. Ce dispositif de modulation n'est pas beaucoup employé, surtout parce que l'on réalise assez difficilement des modifications de la puissance débitée par le circuit générateur, en n'agissant que sur la tension de grille. En réduisant la tension de grille suffisamment, on atteint ordinairement un point pour lequel l'oscillation décroche et le courant débité tombe immédiatement à zéro. La modulation sur la grille qui coupe ainsi brusquement et complètement le courant dans l'antenne ne donne qu'une très petite articulation. Bien qu'on puisse, par des réglages précis, rendre suffisamment graduel le décrochage des oscillations pour donner une bonne articulation, cette méthode ne donnera jamais de bons résultats.

3° La troisième méthode consiste à faire varier la puissance fournie à la plaque d'un circuit générateur, c'est-à-dire que l'on fait varier la tension moyenne et le courant de plaque du ou des tubes générateurs à des fréquences de modulation très basses. Cette méthode est employée pratiquement dans presque tous les appareils radiotéléphoniques, commerciaux et militaires. Elle offre l'avantage, sur la première méthode, de permettre d'utiliser, pour la transmission des signaux, à peu près toute la puissance débitée. A cause des relations presque linéaires qui existent entre la cause et l'effet, cette méthode est incontestablement supérieure aux deux autres au point de vue d'articulation. Dans la transmission de la parole, la puissance de plaque du tube générateur est modifiée par l'emploi d'un tube spécial appelé tube modulateur. C'est le fonctionnement de ce tube qui constitue le principal sujet de la présente étude.

Un appareil radiotéléphonique employant la modulation par la plaque est un système plus ou moins compliqué dans lequel coexistent trois sortes de courants : du courant de radiofréquence, du courant de fréquence acoustique et du courant continu. Pour plus de commodité, on peut donc décomposer le système en quatre parties : l'alimentation en courant continu, le modulateur, le générateur et le système rayonnant. Le modulateur reçoit du courant continu, produit de l'énergie à la fréquence de voix qu'il transmet, en même temps que de l'énergie continue ; cet organe communique donc au système rayonnant de l'énergie modulée. On insère certains dispositifs dans le générateur, pour empêcher le courant de haute fréquence de revenir dans le modulateur, et, de même dans le modulateur, pour empêcher l'énergie modulée de revenir dans le circuit continu.

La figure 1 représente un appareil-type radiotéléphonique décomposé comme nous venons de l'indiquer en quatre unités distinctes. Le fonctionnement de l'appareil est donc le suivant, à partir de la gauche : en faisant varier à l'aide d'un microphone l'impédance du tube modulateur, on produit de l'énergie à fréquence acoustique qui est envoyée, en

(1) E.-S. PURINGTON, *Scientific Papers of the Bureau of Standards*, 15 novembre 1921, n° 423, p. 328-340, 12 fig.

même temps que de l'énergie continue, aux bornes d'entrée + b et - b du générateur. Il en résulte que l'amplitude du courant de haute fréquence débité par le générateur varie selon les fréquences de voix et que la forme d'onde émise donne de nouveau à la réception des courants de voix.

L'auteur obtient, en discutant le fonctionnement élémentaire du modulateur, des courbes importantes. Il étudie, par exemple, comment varient le courant de haute fréquence de l'antenne et le courant fourni à la plaque en fonction de la

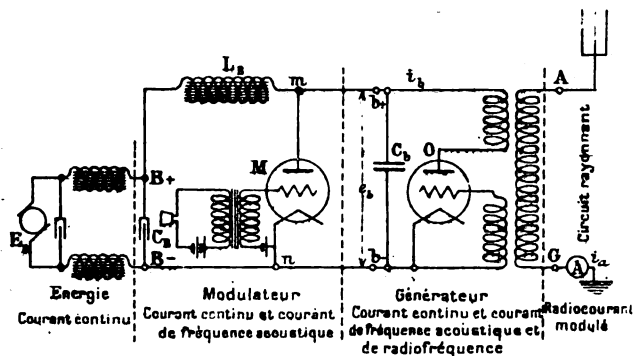


Fig. 1. — Schéma d'un appareil radiotéléphonique disposé pour produire la modulation par variation de la puissance fournie à la plaque d'un circuit générateur.

tension appliquée à la plaque. La première de ces courbes indique la forme d'onde modulée qui résulte d'une variation de la tension-plaque sous l'action de la parole. La seconde indique la nature essentielle de la charge que le générateur impose sur le modulateur. Ces courbes ont, en général, la forme approximative de lignes droites, avec cependant une courbure vers le bas aux hautes tensions. La caractéristique courant plaque-tension plaque, pour un intervalle donné, définit une résistance R_b qui symbolise la charge de résistance utile imposée au modulateur. Le modulateur consiste alors en un triode et en sa charge R_b en parallèle, tous deux étant alimentés par la source de courant continu par l'intermédiaire d'une impédance commune et d'une bobine de self-induction de fréquence acoustique. Le tube modulateur fonctionne comme un amplificateur périodique de courants de voix, le débit correspondant à la tension imprimée sur sa grille par le transformateur.

La charge sur un tube fonctionnant comme amplificateur ou comme générateur peut être exprimée en fonction des formes d'onde de la tension plaque et des courants de plaque. Pour chaque fréquence présente, la valeur numérique de l'impédance de charge est le rapport de la tension alternative au courant « d'espace » alternatif, et l'angle de phase de la charge est donné en partant de l'opposition exacte de phase. Pour un angle de phase dépassant numériquement 90° , le tube dépense plutôt qu'il ne produit de l'énergie. Trois sortes de phénomènes empêchent de pouvoir dériver la vraie impédance de charge sur le tube modulateur, des caractéristiques du générateur symbolisées par la résistance R_b . Tout d'abord la bobine de self-induction à fréquence acoustique est d'impédance finie, ce qui entraîne une composante inductive dans la charge totale. Un tel effet n'est pas sérieux pourvu que l'impédance de la bobine de self-induction soit deux ou trois fois la résistance R_b . Secondement, l'impédance de fréquence acoustique des condensateurs et des self-inductions, surtout de ceux qui fonc-

tionnent comme soupapes pour empêcher le passage de l'énergie haute fréquence dans le modulateur, peut causer des effets perturbateurs sur la charge. Enfin, une distortion des formes d'onde correspondant à une charge par capacité résulte de la nécessité pour le générateur de produire de l'énergie, non seulement pour compenser les pertes par résistance, mais aussi pour faire varier l'énergie électromagnétique associée avec le circuit rayonnant.

Il nous reste à voir comment on peut évaluer l'intensité des signaux émis par un appareil radiotéléphonique. Dans un émetteur à ondes entretenues, la lecture d'un instrument donnant le courant efficace dans le circuit d'antenne est qualitativement une indication de l'intensité du signal que l'on transmet. Dans la transmission des signaux par les méthodes de modulation, la lecture du courant d'antenne maximum n'indique pas un signal maximum à la réception. Si, par exemple, la forme d'onde du courant dans l'antenne résulte d'une modulation sinusoïdale parfaite, et que la détection à la réception se fasse suivant la loi du carré, en négligeant les variations d'audio-impédance des diverses parties du circuit récepteur avec la fréquence, le courant acoustique fondamental reçu est proportionnel au produit k_a / I^2 . La lecture de l'ampèremètre d'antenne, d'autre part, pour cette forme d'onde est

$$I \sqrt{1 + \frac{k_a^2}{2}}$$

Ces fonctions ne sont évidemment pas proportionnelles.

Dans la transmission radiotéléphonique, cependant, les conditions électriques sont telles que la modulation sinusoïdale se produit rarement. Une des principales raisons de ce fait est la courbure des caractéristiques du générateur. Tandis qu'il n'y a pas de limite théorique à la tension qui peut être imprimée sur un circuit générateur, au contraire, le courant qui peut être pris par le circuit ne dépasse jamais l'émission totale du filament des tubes générateurs.

Dans les conditions de bon fonctionnement, le courant continu est ordinairement de l'ordre du tiers ou de la moitié de l'émission totale. Il en résulte que, si la tension plaque est augmentée, le courant n'augmente pas indéfiniment, mais tend vers une valeur constante. En même temps, puisque la puissance fournie n'est plus proportionnelle au carré de la tension fournie, le courant débité augmente moins rapidement que la tension fournie, et les relations linéaires n'existent plus. D'où cette conséquence que, pendant le discours, si une onde de tension sinusoïdale est imprimée sur le circuit générateur par le tube modulateur, l'accroissement maximum du courant dans l'antenne est inférieur à la diminution maximum. En d'autres termes, la variation vers le haut est moindre que la variation vers le bas du courant dans l'antenne.

Ce type de distorsion au transmetteur n'entraîne pas nécessairement une mauvaise transmission de la parole. En fait, avec une modulation sinusoïdale, le courant acoustique reçu n'est pas une onde sinusoïdale, mais contient un terme de fréquence double, qui est $\frac{k_a}{4}$ fois la fréquence fondamentale. On démontre facilement que la forme d'onde convenable à imprimer sur un détecteur, d'après la loi du carré à la réception, de façon à obtenir un bon signal acoustique est

$$e = E \sqrt{1 + k \sin pt} \sin \omega t,$$

dans laquelle k est une constante inférieure à l'unité.

En supposant qu'il n'y ait aucune différence dans la forme d'onde de la tension imprimée sur le détecteur et la forme d'onde du courant dans l'antenne émettrice, le courant dans l'antenne émettrice devra être de la forme

$$i_a = I_a \sqrt{2} \sqrt{1 + k \sin pt} \sin \omega t, \quad k < 1,$$

pour obtenir un bon signal acoustique sinusoïdal.

La forme d'onde donnée par cette équation diffère assez peu de celle produite par les émetteurs dans le cas où le courant débité est limité par la valeur possible pour le courant fourni. Si, par exemple, dans cette expression $k = 1$, la valeur efficace maximum du courant dans l'antenne est $\sqrt{2}$, ou 1,4 fois la valeur efficace non modulée, tandis que la valeur minimum est zéro. En d'autres termes, cette forme d'onde correspond à une modulation moindre vers le haut que vers le bas. Puisque cette forme d'onde est la forme la meilleure pour transmettre une note pure et, en outre, puisqu'on en en approche souvent en pratique, elle offre des avantages réels sur une forme d'onde modulée sinusoïdale, au point de vue de la comparaison des appareils de radiotéléphonie.

Pour la forme d'onde de l'équation précédente, le courant efficace dans l'antenne, dont la valeur moyenne est prise sur un cycle acoustique, est indépendant du paramètre de modulation k et, si cette forme d'onde est produite, la lecture de l'ampèremètre d'antenne ne variera pas pendant le discours. Il y a là une différence notable avec ce qui se passe dans le cas de la modulation sinusoïdale d'équation

$$i_a = I \sqrt{2} (1 + k_a \sin pt) \sin (\omega t + \varphi)$$

pour laquelle la lecture augmente dans le rapport

$$\sqrt{1 + \frac{k_a^2}{2}}$$

pendant le discours. La variation vers le haut de la puissance dans l'antenne est égale à la variation vers le bas de cette puissance, soit $k H I_a^2$. De plus, le signal reçu est aussi proportionnel à la variation de puissance autour de la moyenne. En conséquence, le signal reçu est proportionnel à la différence entre la puissance maximum et la puissance minimum dans l'antenne. On pourra donc estimer la valeur d'un appareil téléphonique simplement au moyen de cette variation de la puissance dans l'antenne dans des conditions de voix spécifiées au microphone.

Ces considérations de l'intensité du signal ont une importance considérable sur le choix du rapport du nombre de tubes modulateurs au nombre de tubes oscillateurs dans un appareil émetteur. La puissance moyenne dans l'antenne qui peut être obtenue est déterminée presque entièrement par le nombre de tubes oscillateurs employés et est complètement indépendante du nombre de modulateurs. D'autre part, la variation de la puissance dans l'antenne n'est pas déterminée de la même façon par le nombre de tubes oscillateurs, puisque le nombre de tubes oscillateurs détermine la nature de la charge sur les tubes modulateurs. Comparons, par exemple, les mérites relatifs d'un appareil téléphonique comportant trois oscillateurs et deux modulateurs à ceux d'un autre appareil comportant quatre oscillateurs et un modulateur; les tubes employés sont identiques et l'on suppose que l'on fournira aux tubes modulateurs la puissance de grille nécessaire dans chaque cas. La dernière combinaison pourra produire un courant dans l'antenne de 15 pour 100 supérieur à la première. Celle-ci cependant pourra donner plus du double de courant acoustique dans les téléphones récepteurs, car il y a deux fois plus d'unités pour faire varier la

puissance dans l'antenne, et parce que deux tubes modulateurs agiront plus efficacement sur le circuit générateur de trois tubes, qu'un tube modulateur sur le circuit générateur de quatre tubes.

Le signal, cependant, ne peut pas être indéfiniment amélioré par une augmentation du rapport du nombre de tubes modulateurs à celui des tubes oscillateurs, non seulement à cause du mauvais rendement acoustique du modulateur dans de telles conditions, mais aussi à cause des distorsions de la parole qui se produiraient par suite d'un excès de modulation. Pour ces raisons, le nombre de tubes modulateurs ordinairement employés est égal au nombre de tubes oscillateurs.

RÉSUMÉ. — L'intensité du signal acoustique produit par un appareil téléphonique n'est pas indiquée par la lecture d'un ampèremètre dans le circuit rayonnant. L'intensité du signal dans les conditions de distorsion nulle dans un appareil récepteur, avec la loi du carré en réception, est proportionnelle à la différence entre la radio-puissance maximum et la radio-puissance minimum dans le circuit rayonnant. Cette différence de puissance, dans des conditions de voix déterminées à l'embouchure du microphone, peut être prise comme base convenable pour estimer la valeur, au point de vue puissance débitée, d'un appareil téléphonique. — G. M.

La détermination de la hauteur des aubes des turbines à vapeur (1).

En raison de l'incompressibilité de l'eau, la détermination des aubes d'une turbine hydraulique n'offre aucune difficulté; il n'en est pas de même pour les aubes des différentes roues d'une turbine à vapeur, car le volume de cette vapeur augmente à chaque étage et il atteint, lorsque la vapeur arrive au condenseur, deux cents fois le volume initial. Une complication supplémentaire résulte du fait que l'énergie potentielle de la vapeur alimentant chaque roue dépend non seulement de la pression initiale et de la pression finale, mais dépend encore du rendement de la turbine, tandis que, dans le cas de turbines hydrauliques en série pour utiliser une chute donnée, la hauteur de chute utilisée par chaque roue est parfaitement déterminée. Lorsque la turbine est alimentée par de la vapeur sèche ou surchauffée, la détermination de la chute de pression à chaque étage est relativement simple; mais, comme la vapeur saturée ne peut pas se détendre dans des conditions d'équilibre thermique, il est nécessaire d'utiliser des formules empiriques, telles que celle de Baumann (*Engineering*, 8 avril 1921) et que l'auteur reproduit en précisant certains points. Si l'on désigne par U l'énergie totale de la vapeur; par K , l'expression

$$\sum \left(\frac{d}{10} \right)^2 \left(\frac{N}{100} \right)^2,$$

dans laquelle d est le diamètre moyen de l'aubage (en pouces) et N , le nombre de tours par minute et, enfin, si l'on désigne par η le rendement hydraulique, on obtient pour le rapport $\frac{K}{\eta}$ une ellipse dont l'équation est

$$\left(\frac{\eta}{\eta_1} + \frac{K}{K_1} \frac{U_1}{U} \right)^2 = 4 \frac{K}{U} \frac{U_1}{K_1},$$

dans laquelle U_1 et K_1 sont les valeurs de U et de K corres-

(1) Harold Medway MARTIN, *Engineering*, 6, 13, 20 et 27 janvier, 3 février 1922, t. cxiii, p. 1-3, 33-34, 66-70, 96-98, 128-131, 14500 mots, 15 fig., 11 tab.

pondant au rendement maximum possible avec le type de turbine considéré. La figure 1 montre une telle ellipse pour turbines à réaction; on voit que, pour $\eta = 0,8$, on doit avoir $K = 1010 U$; la courbe est tracée à l'aide de résultats d'essais, le point B étant celui d'une turbine de 25 000 kw à 30 000 kw. La détermination de la valeur de U et de celle de

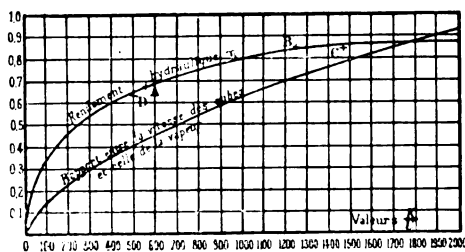


Fig. 1.

K qui en résulte constitue le premier pas dans la recherche rationnelle de la hauteur des aubes; mais il faut en outre connaître la relation entre U et le volume spécifique V de la vapeur; cette relation n'est pas une constante, car elle dépend du rendement η de la turbine, comme nous l'avons vu précédemment.

En pratique, le constructeur connaît plutôt la consommation de vapeur que le rendement hydraulique de la turbine; mais, de cette consommation, il peut déduire facilement le rendement en utilisant les tables de Callendar et il montre par un exemple comment on en déduit le volume V ; pour la vapeur surchauffée, le problème se simplifie et devient simplement mathématique et l'auteur en cite toute une série d'applications, en mesures anglaises malheureusement; il donne également deux tableaux des propriétés de la vapeur à la ligne Wilson qui facilitent le travail indiqué plus haut; ces données s'appliquent à un cas particulier et ne concernent que l'état initial et l'état final. Dans la pratique, il importe de connaître les valeurs de U et de V pour un certain nombre de points intermédiaires. Tant que la détente n'est pas poussée au delà de la sursaturation ou ligne Wilson, il existe une relation parfaitement définie entre p et V et, à l'aide de la table de Callendar, on peut en déduire la valeur de K et de U en chaque point de la détente; il est cependant préférable d'utiliser des formules d'interpolation qui conduisent à des résultats assez exacts; l'auteur reproduit un certain nombre de ces formules indiquées avant lui par Callendar; quelques tableaux de chiffres établis à l'aide de ces formules peuvent être d'une assez grande utilité pour les applications, mais l'auteur montre aussi un exemple de calcul relatif au cas d'une turbine à réaction de 6 000 kw, tandem, avec une partie à écoulement simple à la haute pression et une partie à double écoulement à la basse pression.

La détermination de la hauteur des aubes de la turbine à basse pression est la partie la plus délicate du calcul, car la vitesse de sortie de la vapeur atteint, à la dernière roue, une valeur considérable et qu'il importe de diminuer de telle sorte que la perte n'y dépasse pas 3 pour 100; il est en outre nécessaire de ne pas exagérer la vitesse périphérique des aubes et l'auteur admet que la vitesse, au diamètre moyen de ces aubes, ne doit pas être supérieure à 175 m : s et il part de cette donnée pour obtenir le diamètre de la dernière roue; il en tire la valeur de K par la formule

$$K = \frac{v}{u} \left(\frac{d}{10} \right)^2 \left(\frac{N}{1000} \right)^2,$$

dans laquelle v est le nombre de rangées d'aubes de la turbine en admettant un rendement déterminé, la courbe donnée plus haut fournit la valeur de $K : U$; on en tire v et, puisque toutes les roues absorbent la même chute, on a $q = V : v$; la vitesse d'échappement de la vapeur est proportionnelle à \sqrt{q} et l'on peut écrire $v = l \sqrt{q}$, expression dans laquelle l est un coefficient; mais $v = \frac{\omega V}{\Omega}$, ω étant le poids de vapeur passant par seconde, V son volume spécifique et Ω la section de passage offerte à la vapeur, on peut donc écrire la relation

$$\sqrt{q} = \frac{A \omega V}{l \pi h_1 d \sin \alpha},$$

h_1 étant la hauteur des aubes, A une constante dépendant des unités et α l'angle d'échappement des aubes. On a, en outre,

$$\sqrt{q} = \sqrt{\frac{V}{v}} = \sqrt{\frac{V}{2K} \frac{N}{1000}};$$

de ces deux valeurs de \sqrt{q} , on tire

$$h_1 = \frac{L}{N} \sqrt{\frac{K \omega V}{U d^2}},$$

L étant un coefficient qui dépend du rendement hydraulique de la turbine. L'auteur a calculé les valeurs de h_1 pour un certain nombre d'étages et il en a tracé une courbe, ce qui permet une interpolation facile; l'angle α qui paraît le plus avantageux est voisin de 18° , mais, en réalité, l'angle de l'aube est voisin de 26° . L'équation

$$h_1 = \frac{L}{N} \sqrt{\frac{K \omega V}{U d^2}}$$

montre que, si l'on modifie convenablement le diamètre moyen d , on peut faire $h d^2 = \text{constante}$; d'où, en désignant par D le diamètre du tambour et par h la hauteur d'une aube ramenée à ce diamètre, nous devons avoir

$$h(h + D)^2 = h_1 d^2;$$

un tableau donne les valeurs de h_1 pour les différents étages de la turbine examinée. Si n désigne le nombre de rangées d'aubes de la turbine réelle (v celui de la turbine idéale), on a

$$\frac{n}{v} = \frac{d^2}{(h + D)^2}, \quad \frac{dn}{dv} = \frac{(h + D)^2}{d^2} = \frac{h}{h_1},$$

en tenant compte de

$$h(h + D)^2 = h_1 d^2.$$

On peut tirer n de cette valeur de $\frac{dn}{dv}$ de deux manières différentes, soit par la formule de Cote

$$n = \int \frac{h}{h_1} dv = \frac{v_N - v_0}{\sigma} \left[\left(\frac{h}{h_1} \right)_0 + \left(\frac{h}{h_1} \right)_N + \left(\frac{h}{h_1} \right)_N \right],$$

dont les opérations sont facilitées par une courbe donnant $\frac{dn}{dv}$ en

fonction de v , soit par une méthode utilisant les différences finies dont l'auteur donne un exemple. La hauteur des aubes de la partie à haute pression doit être relativement petite, mais le mode de détermination est sensiblement le même; si d_0 est le diamètre moyen du tambour, h_0 la hauteur des aubes d'une roue et si l'on admet pour la première roue une hauteur $h_0 = 0.05 d_0$, on obtient

$$d_0 = B \left(\frac{V_0 \delta}{N} \right)^{\frac{1}{2}}$$

expression dans laquelle δ est le rapport de la vitesse des aubes à celle de la vapeur; la figure 1 donne une courbe de δ en fonction de $\frac{K}{U}$; l'auteur applique les résultats ci-dessus

au cas de la turbine dont il a examiné la partie à basse pression et il détermine ainsi les hauteurs des aubes des différentes roues et le diamètre du tambour; finalement, il discute l'erreur probable de la valeur obtenue par la méthode développée précédemment et il échafaude une étude théorique plus complète en utilisant le calcul des différences finies de Laplace et qui montre que les hauteurs des aubes déterminées par la première méthode sont très satisfaisantes; il faut cependant noter que ces hauteurs doivent être modifiées pour tenir compte des fuites de vapeur par les jeux indispensables au fonctionnement de la turbine; la méthode purement analytique est ici de la plus grande utilité, comme l'auteur le prouve par un exemple. La dernière partie de l'étude est consacrée aux turbines d'impulsion: le rendement maximum est ici un peu plus faible; la figure 2

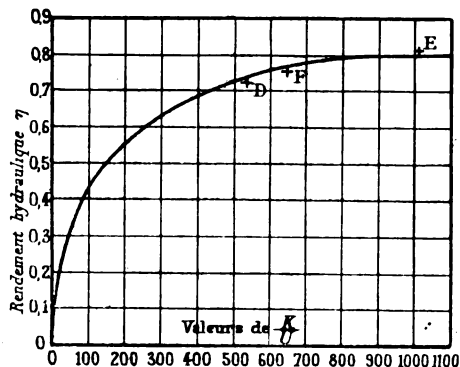


Fig. 2.

montre l'allure de la courbe du rendement en fonction du rapport $\frac{K}{U}$; l'auteur donne ensuite l'expression d'un facteur

de correction de la formule permettant de calculer le poids de vapeur débité par seconde pour le cas de la turbine à impulsion. Deux appendices complètent l'étude: le premier est consacré aux équations permettant l'établissement d'un graphique à alignements donnant la quantité de chaleur utilisable dans la vapeur entre différentes limites de pression; le deuxième permet de calculer les erreurs commises en supposant que le nombre de séries d'aubes de la turbine est infini alors que, dans la pratique, il est fini; l'erreur commise dans ce dernier cas est négligeable.

Un potentiomètre à courant alternatif par tube à vide (1).

Dans l'étude de beaucoup de problèmes de téléphonie et d'acoustique, il est nécessaire de mesurer de très faibles tensions dans un large intervalle de fréquences. Mais il est difficile d'appliquer les types ordinaires de potentiomètres à courant alternatif, à cause des forces électromotrices engendrées par les flux venant des bobines d'inductance sans fer et à cause des courants vagabonds qui passent dans les capacités réparties des enroulements. Le potentiomètre de Drysdale, quoique relativement exempt de ces causes d'erreur, ne s'adapte pas à tout l'intervalle de fréquences voulu et il a de plus l'inconvénient d'exiger un courant bien plus grand que l'oscillateur ordinaire à tube à vide n'en peut fournir sans un amplificateur spécial. L'auteur décrit un type de potentiomètre alternatif qui s'emploie dans un intervalle de fréquences de 60 à 14 000 p/s; il n'exige qu'une puissance alternative si faible qu'un modèle courant d'oscillateur à tube à vide peut servir de source. Un autre de ses avantages est que les lectures indiquent directement la phase et la tension de la force électromotrice mesurée. Comme la plupart des mesures potentiométriques en courant alternatif ont pour objet la détermination d'un rapport de forces électromotrices, il est plus commode d'avoir les lectures sous cette forme que sous celle de deux tensions composantes à angle droit l'une de l'autre. Ce potentiomètre est basé sur l'emploi de tubes à vide non seulement comme amplificateurs, mais comme éléments unilatéraux, de façon à empêcher la réaction gênante de certaines parties du circuit sur d'autres. Pour son emploi, on a trouvé commode de construire un nouveau type de galvanomètre différentiel à courant alternatif et un rhéostat déphaseur spécial. L'article décrit ces appareils et donne la théorie de leur fonctionnement. Ce potentiomètre a plusieurs avantages sur d'autres instruments pour la mesure des forces électromotrices alternatives. Un des plus importants est le fait que son échelle est linéaire. Sa sensibilité est donc la même dans toute l'étendue de l'échelle, et il convient particulièrement bien à la mesure de petites forces électromotrices à circuit ouvert. Avec l'appareil décrit, on peut mesurer exactement depuis 0,001 v jusqu'à 5 v.

Ce potentiomètre indique seulement la tension qui correspond à la composante fondamentale, indépendamment de la forme d'onde de la force électromotrice. Ce fait est avantageux dans certaines mesures, particulièrement quand il faut obtenir des valeurs en fonction de la fréquence, comme dans beaucoup de problèmes téléphoniques, car quelle que soit la forme d'onde, les effets dus aux harmoniques supérieurs sont éliminés. Dans beaucoup de problèmes de courant alternatif, il est essentiel de pouvoir mesurer la phase. Par exemple, dans l'étude de la distorsion produite par des amplificateurs ou d'autres circuits dans la transmission de courants de forme d'onde complexe, il est souvent nécessaire de déterminer les relations de phase aussi bien que les rapports de grandeur des courants d'entrée et de sortie à diverses fréquences. Avec le potentiomètre à courant alternatif décrit dans l'article, ces deux quantités se lisent directement après trois réglages simples. Pour la détermination des forces électromotrices en fonction de la fréquence, le galvanomètre différentiel permet de faire rapidement le réglage en passant d'une fréquence à une autre. On a obtenu des résultats satisfaisants pour des fréquences variant de 50 à 14 000 p/s.

Dans la construction de ce potentiomètre, on n'emploie que des transformateurs à noyau de fer et des inductances placées dans des enveloppes de fer. On élimine ainsi les champs vagabonds, qui dans les mesures à des fréquences acoustiques pourraient avoir un effet défavorable sur la précision de l'appareil. Toutes les autres parties peuvent être logées dans une boîte munie d'un écran. L'appareil est ainsi entièrement protégé contre les perturbations électriques extérieures. — P. L.

E. B.

(1) E.-C. WENTZ. *Journal of A. I. E. E.*, décembre 1921, t. XL, p. 900-904. 4 206 mots, 5 fig.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Le droit du concessionnaire de se faire rembourser les branchements extérieurs

Arrêt de la Chambre des Requêtes. 8 mars 1922

Un procès assez étrange vient de se dérouler à la Cour de Cassation sur le droit d'une compagnie de gaz de faire seule, pour le compte des particuliers, le raccordement de leur immeuble à la canalisation principale ; comme ce procès permet de bien comprendre et de commenter l'article 15 du cahier type des distributions municipales d'énergie, l'auteur en présente ci-dessous une rapide analyse.

I. — Par un traité du 23 avril 1862, ayant été l'objet de deux prorogations successives et expirant le 1^{er} septembre 1935, un entrepreneur de plomberie, remplacé aujourd'hui par une société gazière, avait été chargé de la distribution du gaz dans la commune de Condé-sur-Noireau. Le contrat de concession obligeait le gazier à livrer le gaz à toute personne qui se trouverait sur le parcours de la grosse canalisation, au prix de 0,25 fr par mètre cube pour l'éclairage et 0,20 fr pour la force motrice, et ajoutait ces stipulations : le concessionnaire aura seul le droit de faire, pour le compte des particuliers, les prises de gaz raccordant les compteurs aux grosses canalisations ; les consommateurs avaient le droit de louer leur compteur à la société concessionnaire, moyennant une rétribution fixée au contrat ; quant aux installations intérieures après le compteur et à celles de l'appareillage, elles étaient absolument libres, le concessionnaire n'ayant aucun droit à les faire lui-même, mais pouvant évidemment s'en charger, comme tout plombier.

Pendant très longtemps, suivant l'usage, pour encourager la consommation, la compagnie ne fit payer ni les frais de raccordement qu'elle avait seule le droit de faire, ni les installations intérieures, et se contentait de demander un loyer mensuel pour la location du compteur et pour tous les appareils. C'est ainsi qu'en 1905, chez un abonné, M. Ruault, elle avait établi le branchement de raccordement, fait les installations intérieures et fourni un compteur, avec cinq appareils d'utilisation : en rémunération, elle ne demanda pour le tout qu'une location mensuelle de 1 fr ; la moitié, soit 0,50 fr, représentant la location du compteur, d'après le traité ; il ne restait donc plus que la même somme pour la location des autres appareils. C'était au moment de l'âge d'or pour les gaziers...

En 1920, à l'époque de resserrement de l'argent, la société concessionnaire entreprit de tirer parti des droits que lui aurait donnés son cahier des charges au sujet des branchements, et, tout en respectant les prix

de location des compteurs fixés par ledit cahier, elle prévenait Ruault qu'il aurait à payer les redevances suivantes : branchement, 0,50 fr ; compteur, 0,50 fr ; plomberie, 0,50 fr ; appareils loués, 2,40 fr. N'obtenant pas de réponse, la compagnie se présenta pour l'enlèvement des appareils et l'abonné, tout en reconnaissant que ceux-ci ne lui appartenaient pas, déclara qu'il ne les laisserait enlever que sur un jugement. Le 27 décembre 1920, une décision par défaut du Tribunal de Commerce avait ordonné que M. Ruault devrait cesser de s'opposer à cette reprise, qu'il serait condamné, dans le cas contraire, à une astreinte de 500 fr, et que, moyennant le paiement de cette somme, il deviendrait propriétaire des appareils ; en plus, elle le condamnait au paiement de 50 fr.

Sur appel, le 10 février 1921, la Cour, sous la présidence de M. Villey et de M. Mazière avocat général, a réformé partiellement le jugement ; sans doute, elle ne pouvait blâmer le Tribunal de Commerce d'avoir autorisé la Compagnie à reprendre ses appareils puisqu'ils étaient sa propriété incontestable ; mais, en ce qui touche la location de 0,50 fr afférente au branchement, elle déclara la compagnie sans droit pour la réclamer, parce que cela constituerait une augmentation indirecte du prix du gaz ; le branchement, dit la Cour, est l'accessoire nécessaire de la fourniture du gaz, puisqu'il en est le véhicule ; ajouter un droit de location du branchement au prix du gaz, c'est majorer le prix.

Le dispositif de l'arrêt maintient la disposition du jugement autorisant, sous contrainte, les enlèvements des appareils dont la compagnie serait propriétaire, à la condition de ne pas supprimer le branchement, mais réforme la décision en ce que celle-ci avait permis à la compagnie du gaz de réclamer une somme mensuelle de 0,50 fr pour ledit branchement. Voici les motifs :

Attendu qu'il échet maintenant d'apprécier dans quelle mesure les innovations sont conformes au traité qui lie les parties contractantes ; Attendu qu'une distinction doit être

établie entré le branchement, d'une part, et les compteurs, la plomberie et les appareils, d'autre part ;

Attendu, en effet, qu'aux termes de l'une des clauses ci-dessus de l'article IX, « la compagnie aura seule le droit de faire, pour le compte des particuliers, les prises de gaz raccordant les compteurs aux grosses canalisations tandis qu'il est stipulé que les consommateurs seront libres d'acheter ou de faire réparer leur compteur par l'entrepreneur de leur choix ». Attendu qu'en vertu de ce texte, le monopole de la compagnie se trouve limité à la fourniture du gaz s'exerçant par les branchements jusqu'aux compteurs exclusivement, tandis que les compteurs, comme la plomberie qui en est l'accessoire, ainsi que les appareils sont en dehors de ce monopole, puisque ces compteurs, cette plomberie et les appareils peuvent être fournis par un entrepreneur autre que la compagnie ;

Attendu qu'il résulte de cette situation de fait que le branchement se confond avec la fourniture du gaz, puisqu'il est la condition de cette fourniture et que le prélèvement d'une redevance sur le branchement aboutirait à une augmentation du prix du gaz, d'une manière unilatérale et inadmissible, sans que la ville ait autorisé cette modification du contrat ;

Attendu, au contraire, que pour les compteurs, la plomberie et les appareils, rien ne s'oppose, en principe, à ce que la compagnie, dans le cas où elle les aurait fournis, prélève sur chacun de ces éléments une redevance comme tout autre entrepreneur sans qu'il soit ainsi fait échec à la convention primitive ;

Attendu que, par voie de conséquences nécessaires de ces principes conformes au texte et à l'esprit des conventions intervenues entre la Compagnie du Gaz et la ville de Cond-sur-Noireau, il appert que, si la compagnie a pu, comme tout autre entrepreneur particulier, prétendre au prélèvement d'une redevance sur les compteurs, la plomberie et les appareils qu'elle aurait fournis, et à l'enlèvement de ces diverses fournitures au cas où l'abonné refuserait d'en payer la location, elle est, au contraire, sans droit pour réclamer un prix de location sur les branchements qui constituent le mode nécessaire de la distribution du gaz et font ainsi partie intégrante du monopole concédé à ladite compagnie, de même qu'elle ne saurait supprimer ces branchements, sans manquer à la loi du contrat qui, par cette interprétation conforme à son application littérale, aboutit à concilier les exigences du monopole avec les droits des parties intéressées ;

Attendu que c'est donc à tort que les premiers juges ont consacré la redevance sur les branchements, ce qui implique le droit de les supprimer en cas de non paiement, ces branchements ne devant pas être compris dans la location. Que, sans doute, la compagnie aurait la faculté de reprendre les diverses installations dont elle serait propriétaire à l'intérieur de la maison de l'abonné, mais que celui-ci aura toujours comme corollaire la possibilité, en faisant rétablir aussitôt par un entrepreneur de son choix les ouvrages enlevés, de ne pas être privé de la distribution du gaz auquel il a droit par le branchement aboutissant à sa maison. Attendu qu'il convient, par suite, de décharger Ruault de la condamnation à 50 fr. de dommages-intérêts prononcée contre lui ;

II. — Un pourvoi fut formé contre cet arrêt et basé sur les deux moyens suivants :

a) *Premier moyen.* — Le cahier des charges n'indique pas comment le fournisseur du gaz doit être rémunéré du branchement : c'est certain ; mais il est non moins certain — il est même évident — que le branchement ne peut pas être fait gratuitement, pour les deux

motifs que voici : d'abord, la compagnie, d'après son cahier des charges, aura « seule le droit » ; dire qu'elle a un droit, équivaut à ne pas lui imposer l'obligation d'exécuter un travail gratuit (s'il en avait été ainsi, on aurait employé l'expression consacrée : « la société sera tenue ») ; bien plus, le cahier des charges ajoute « pour le compte des particuliers », ce qui indique le droit précis d'exiger un remboursement. Par conséquent, il n'est pas exact de dire qu'en faisant payer une rémunération pour le prix du raccordement, la compagnie majore le prix du gaz, puisqu'elle a, par son cahier des charges, deux droits à faire valoir, essentiellement distincts : le droit de réclamer le prix d'une fourniture, c'est celui qui appartient à la qualité de distributeur et le droit de réclamer le prix d'un travail, c'est le salaire de l'entrepreneur.

Du reste, le Conseil d'Etat a décidé que, normalement, l'établissement des branchements est une charge de l'abonné : cette solution est donnée par l'arrêt du 24 janvier 1896 (Dalloz, 97. 3. 9, affaire Ville de Saint-Etienne contre Compagnie du Gaz) qui a déclaré que les robinets extérieurs font partie du branchement qui constitue une annexe de l'appareil, lequel est établi aux frais de l'abonné ; par conséquent, doit être réformé l'arrêt du conseil de préfecture quand il a décidé que la pose et l'entretien de ces robinets constitue une charge incombant à la Compagnie du Gaz ; enfin, il est certain que la compagnie était restée propriétaire du branchement, par conséquent, elle aurait pu le faire enlever, comme étant sa chose, car on ne saurait dire que l'abonné serait lui-même devenu propriétaire dudit branchement ; cela d'ailleurs n'a pas été soutenu, car il était au contraire reconnu que l'abonné n'avait jamais offert à la compagnie de lui en rembourser le coût, condition nécessaire pour qu'il en devint le légitime propriétaire ; dirait-on que l'abonné est devenu propriétaire, par ce mode juridique d'extension de la propriété qui s'appelle *l'accession* ? On sait, en effet, que l'article 553 du Code civil dispose que tout ouvrage sur un terrain ou dans l'intérieur sont présumés faits par le propriétaire, à ses frais, et lui appartenir si le contraire n'est pas prouvé. Mais l'accession ne peut avoir lieu sur un terrain public, alors que la Cour suprême en a refusé le bénéfice à la Société « la Rente foncière » pour des canalisations faites dans les murs de ses propres maisons (arrêt de la Chambre des Requêtes du 1^{er} décembre 1920, Dalloz 1921, 1, 154, affaire Rente foncière contre Compagnie parisienne du Gaz).

b) *Deuxième moyen.* — En tout cas, l'arrêt de la Cour d'Appel de Caen aurait interprété un contrat administratif ; or, si la juridiction judiciaire peut « appliquer » un acte de cette nature, c'est à la condition qu'il soit d'une précision inattaquable ; dès qu'il y a un doute, c'est le conseil de préfecture qui doit interpréter ; cela résulte de divers articles : l'article 7 du décret du 22 décembre 1879 et l'article 13 du décret du 16 fructidor an III.

L'arrêt de la Cour suprême dont on va lire le texte

a réussi néanmoins à passer entre les mailles d'une dialectique aussi serrée, par le moyen suivant : la décision de la Cour de Caen n'a pas dénié à la Compagnie du Gaz le droit de se faire rembourser les frais de la pose du branchement ; si elle avait contenu une pareille disposition, elle aurait contrevenu au texte et à l'esprit du contrat administratif qui dispose, dans son article 9, que la compagnie concessionnaire aura seule le droit de faire, pour le compte des particuliers, les prises de gaz raccordant les compteurs aux grosses canalisations ; la Cour de Caen a simplement refusé le droit au concessionnaire de prendre une « redevance » pour le branchement : c'est le mode de rémunération qui est incriminé et non pas le principe lui-même de la rémunération. C'est pourquoi la compagnie concessionnaire a encore les honneurs de la guerre, tout en voyant son pourvoi rejeté dans les termes suivants, par l'arrêt de la Chambre des Requêtes du 8 mars 1922, sous la présidence de M. Blondel.

La Cour : ouï M. le conseiller Delrieu en son rapport, M^e Hannotin, avocat du pourvoi, en ses observations, M. l'avocat général Péan en ses conclusions. Sur le moyen unique du pourvoi pris de la violation des articles 7 du décret du 22 décembre 1789, 13 du décret du 16 fructidor an III, des articles 134 du Code civil et 7 de la loi du 20 avril 1810 ;

Attendu qu'il est fait grief à l'arrêt attaqué d'avoir décidé que la compagnie, demanderesse au pourvoi, ne pouvait effectuer, sur les particuliers abonnés au gaz, une perception supplémentaire destinée à l'indemniser de l'établissement des branchements conduisant des grosses canalisations au compteur de chaque abonné. Alors que l'article 9 du contrat de concession reconnaît à la compagnie le droit exclusif d'établir les branchements pour le compte des particuliers, à titre d'entrepreneur nécessaire et par conséquent contre rémunération, et alors, en tout cas, que, si un doute pouvait subsister sur le sens de cette clause du traité de concession, la Cour devait en renvoyer l'examen aux tribunaux administratifs ;

Mais attendu que l'article 9 du traité de concession stipule que « la compagnie concessionnaire aura seule le droit de faire, pour le compte des particuliers, les prises de gaz raccordant les compteurs aux grosses canalisations » ;

Attendu que l'arrêt attaqué n'a pas dénié à la compagnie le droit d'être rémunérée, sous une forme autre que celle employée, des dépenses faites pour l'établissement des branchements dont il s'agit. Qu'il s'est borné, en appliquant des clauses du contrat de concession qui sont claires et précises, à décider que la compagnie concessionnaire ne pouvait pas être autorisée, sous prétexte de se couvrir des dépenses qu'elle aurait faites en installant une prise de gaz pour le compte de l'abonné Ruault, à prélever à l'occasion de ce branchement une redevance mensuelle à titre de location. Que ce mode de procéder, aboutissant à augmenter le prix du gaz, ne saurait être déclaré licite, soit en dehors d'une entente amiable avec les consommateurs, soit en dehors d'une modification au contrat d'abonnement dûment autorisée ;

Attendu qu'en statuant ainsi la Cour de Caen a fait l'application pure et simple d'une stipulation du traité de concession, dont il n'y avait pas lieu, en conséquence, de renvoyer l'examen aux tribunaux administratifs ;

Par ces motifs : rejette la requête.

Cet arrêt, qui n'a paru dans aucun recueil judiciaire a vu seulement son sommaire paraître dans la « Gazette des Tribunaux » du 24 mars 1922 dans les termes suivants : Jusqu'aux termes de son traité de concession une compagnie de gaz a seule le droit de faire pour le compte des particuliers, les prises de gaz raccordant les compteurs aux grosses canalisations etc., a bien la faculté d'être rémunérée des dépenses pour l'établissement de ces branchements, mais elle ne saurait, sous prétexte de se couvrir de ces dépenses être autorisée à prélever à l'occasion de ce branchement une redevance mensuelle à titre de location, ce procédé constituait une mesure aboutissant à une augmentation du prix du gaz non prévue au contrat municipal.

III. — Cette discussion fait apprécier la rédaction très claire de l'article 15 du cahier des charges-type qui est intitulé « branchements et colonnes montantes » ; ledit article contient une série de principes bien nets :

1^o C'est une obligation pour l'entrepreneur que de faire tous les branchements ayant pour objet d'amener le courant du réseau à l'intérieur des immeubles desservis, jusques et y compris la boîte du coupe-circuit principal, ou le poste de transformateur.

2^o Les frais d'installation ne sont pas gratuits et doivent être remboursés au concessionnaire d'après un tarif dont l'article 15 doit donner le libellé.

3^o Les branchements intérieurs, les colonnes montantes et toutes dérivations sont établis et entretenus par les soins et aux frais des propriétaires des immeubles.

Pour faire exception à ces principes, le cahier des charges doit contenir dans la partie rédigée en italique certaines stipulations savoir :

a) On peut dispenser les propriétaires ou abonnés de rembourser les frais d'installation, en y substituant le paiement d'un loyer mensuel dont le tarif est indiqué ; on peut encore stipuler que lorsque le loyer aura été payé pendant une période déterminée, les abonnés desservis jouiront gratuitement de cette installation.

b) On peut même prévoir qu'en prenant la charge d'un paiement à faire pour une fourniture importante pendant un certain nombre d'années, les consommateurs peuvent ne pas être tenus de payer les frais d'installation, soit sous forme de remboursement, soit sous forme de loyer.

c) Bien qu'en principe, les branchements intérieurs, les colonnes montantes et toutes dérivations doivent être établis et entretenus par les soins et aux frais des propriétaires des immeubles, le cahier des charges par une clause imprimée en italique permet à l'abonné d'exiger du concessionnaire l'exécution et l'entretien de ses travaux, moyennant une rémunération faisant l'objet d'un tarif formellement prévu.

Ces tarifs sont revisables si le concessionnaire, d'une part, et le Conseil Municipal, d'autre part, tombent

d'accord, la délibération étant, dans ce cas, approuvée par le Préfet.

Le rapprochement de ce texte et du cahier des charges imprécis qui a donné lieu au procès entre le consommateur Ruault et la Société Gazière, nous fait

apprécier la méthode adoptée par le rédacteur du cahier-type, dans l'article 15, dont nous venons de donner ci-dessus la rapide analyse.

Paul BOUGAULT.

Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Assemblées générales

Société générale pour favoriser le développement du Commerce et de l'Industrie en France.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 10 AVRIL 1922.

Dans son rapport aux actionnaires, le Conseil d'administration de la Société générale, après un exposé de la situation économique, signale le concours étendu prêté par l'établissement à l'État, aux grandes entreprises publiques et aux groupements de sinistrés.

C'est ainsi que la Société générale a souscrit pour son compte et pour celui de sa clientèle des bons de la Défense nationale dont le montant dépasse notablement tous les chiffres précédemment obtenus; elle a figuré, en outre, pour 11 pour 100 dans l'émission des bons à 2 ans du Trésor français et des obligations du Crédit Foncier, pour 15 pour 100 dans les souscriptions aux bons 1921 du Crédit national et pour 20 pour 100 dans le résultat de la Ville de Paris. Plus du cinquième des titres émis pour le compte des deux principaux groupements de sinistrés, ceux des houillères et de la grosse métallurgie ont été placés par ses soins.

Le rapport énumère les autres opérations d'intérêt général, régional et local auxquelles l'établissement a prêté son concours.

Le portefeuille moratorié, dont l'apurement se poursuit, ne représente plus qu'une faible proportion de son montant originaire, 3,85 pour 100 exactement.

En raison du développement considérable des principaux services, la société a dû rechercher de nouveaux locaux; c'est ainsi que l'immobilière parisienne et départementale, dont elle a le contrôle, a été amenée à acquérir la majorité des actions de la société de la rue Edouard-VII. Cette opération, qui a été effectuée dans de bonnes conditions, constitue la dernière étape du programme immobilier.

La Société générale s'est assurée le contrôle exclusif de la Banque française de Syrie et se trouve ainsi représentée à Beyrouth, Damas, Alep, Mersine et Adana. La Société française de Banque et de Dépôts a repris le paiement des dividendes interrompu pendant la guerre.

Elle entretient des relations avec la Société générale alsacienne de Banque dont la situation prépondérante dans les provinces reconquises s'affirme de jour en jour.

Les résultats de l'exercice ont été satisfaisants malgré la crise qui sévit dans tous les domaines de la vie économique.

Sur le produit net de l'exercice, qui s'est élevé à 25 081 394,09 fr., le Conseil a proposé de payer un dividende de 22,50 fr par action, sous déduction des impôts, soit net 20,25 fr., égal à celui de l'exercice précédent, cette répartition laissant encore un solde disponible de 4638 997,13 fr., qui a été reporté à nouveau. Un acompte de 6,25 fr ayant été payé le 2 janvier, le solde de 14 fr nets sera mis en paiement le 1^{er} juillet.

Le Conseil a proposé la nomination comme administrateurs, de M. Henry Poirier, ancien directeur, et de M. Cornudet, ancien censeur, et le comité de censure, celle de M. Georges Verstraete, comme censeur.

Société mutuelle d'Assurances.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 4 AVRIL 1922.

La société, qui se composait à l'origine de 22 membres, en compte aujourd'hui 50 se répartissant ainsi : 34 sociétés de

production et de distribution d'énergie électrique, 15 compagnies de tramways, une entreprise de construction de matériel électrique.

Les capitaux assurés au cours de ce premier exercice se sont élevés à 621 768 888 fr dont 158 500 550 fr assurés à la fois contre l'incendie et contre le risque électrique. Le montant total des cotisations annuelles correspondantes est de 2 535 520 fr non compris les taxes d'État.

L'ensemble des garanties est réparti entre 216 polices.

Les cotisations nettes encaissées s'élèvent à 1 551 593 fr.

L'enregistrement, le timbre, la taxe des pompiers et la taxe spéciale font un total de 211 968,20 fr.

L'importance des capitaux couverts par la société sur un même risque rendait indispensable la répartition de ceux-ci.

Cette considération a amené le Conseil et la Direction à rechercher le concours de réassureurs. Le montant des cessions sur cotisations perçues s'est élevé à 959 349,98 fr.

La société a dû faire face, au cours de ce premier exercice, à 10 sinistres de faible et moyenne importance. Les indemnités payées ou à payer s'élèvent à 217 000 fr se répartissant entre la société et ses différents réassureurs.

La participation aux frais de gestion et d'administration est actuellement fixée à 1 pour 1000 des valeurs assurées, la somme ainsi calculée ne pouvant excéder 25 pour 100 de la cotisation annuelle. L'application de cette formule a donné pour le premier exercice une recette de 272 076,40 fr.

En raison du développement incessant des opérations de la société, l'assemblée décide :

1° De changer la base de perception de cette participation qui, dorénavant, serait calculée sur la cotisation nette annuelle et non plus sur les capitaux garantis;

2° D'en modifier le taux en l'abaissant à 15 pour 100 de la dite cotisation.

Le Conseil propose de maintenir sans changement, pour l'exercice 1922, la portion de cotisation exigible d'avance pour la constitution du fonds de prévoyance.

Le Conseil, dans sa séance du 22 février 1921, a appelé aux fonctions d'administrateur la Société Electricité et Gaz du Nord. L'assemblée ratifie cette nomination.

Le solde bénéficiaire de l'exercice s'élève à 468 730,35 fr. sur lequel il a été prélevé pour amortissements 37 259,15 fr.

Le solde net de 431 471,20 fr constitue le premier aliment du fonds de réserve.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1921.

| Actif. | fr |
|--------------------------------------------------|--------------|
| Frais de constitution..... | 1 1 |
| Frais de premier établissement..... | 1 1 |
| Mobilier..... | 1 1 |
| Caisse et banque..... | 7 469,10 |
| Bons de la Défense nationale..... | 500 000 1 |
| Débiteurs divers..... | 192 042,75 |
| | (699 724,85) |
| Passif. | fr |
| Provision pour sinistres en cours de règlement.. | 14 000 1 |
| Impôts restant à payer au 31 décembre 1921..... | 18 082,45 |
| Créditeurs divers..... | 84 187,90 |
| Compte d'ordre..... | 21 983,30 |
| Compte de profits et pertes..... | 431 471,20 |
| | (699 724,85) |

SECTION DE LÉGISLATION

Le privilège du Trésor sur les immeubles pour la récupération des taxes sur les bénéfices de guerre

L'auteur examine le mécanisme du projet du Gouvernement, récemment adopté par la Chambre, concernant l'institution d'un privilège inscrit au profit du Trésor sur les immeubles des assujettis à la taxe sur les bénéfices de guerre. Il en critique les dispositions et la portée.

Les divers gouvernements et le Parlement, en instituant, sous la pression de l'opinion publique, une taxe spéciale sur les bénéfices exceptionnellement réalisés au cours de la guerre et dans la période immédiatement subséquente, avaient espéré un produit important, qui aurait évité la création d'une grande partie des impôts nouveaux institués par les lois de finances successives.

Les rentrées sont demeurées très inférieures aux prévisions primitives, et, malgré les mesures coercitives adoptées, il restait, au dire de l'Administration des Finances, plusieurs milliards de francs à recouvrer encore à la fin de l'année 1921.

I. Difficultés à vaincre. Loi du 25 juin. Inconvénients. — Préoccupé d'éviter les évasions des capitaux et de s'assurer les gages, que ne lui donnaient pas la législation en vigueur, en présence de la concurrence faite à l'Etat, créancier privilégié seulement sur les meubles et valeurs, par les créanciers de droit commun disposant d'avantages légaux sur les immeubles (hypothèques, nantissements, privilège du bailleur), le législateur avait songé à instituer au profit de l'Etat un privilège spécial, destiné à primer les privilèges de droit commun, dont pouvaient bénéficier les particuliers à l'égard du commun débiteur.

Par son article 20, la loi du 25 juin 1920 étendait à tous les biens du contribuable le privilège du Trésor, qui, jusqu'à cette date, ne s'exerçait que sur les meubles et valeurs mobilières ; le privilège du Trésor portait donc désormais non seulement sur les meubles, ce qui est le droit ancien, mais sur les immeubles, ce qui constituait une innovation.

Comment allait s'exercer le privilège du Trésor, et, bien qu'occulte, allait-il primer les bailleurs de fonds par titre hypothécaire et les acquéreurs des immeubles assujettis ? L'innovation était en effet hasardeuse au point de vue juridique, car elle allait à l'encontre de tous les principes admis en matière de conservation des privilèges immobiliers, qu'ils soient établis au profit de l'Etat ou au profit des particuliers. Elle était hasardeuse au point de vue économique, car elle portait atteinte à des situations acquises et créait un trouble préjudiciable au commerce et à l'industrie.

La Direction de la Comptabilité publique, dans une circulaire du 29 juillet 1920, reconnaissait certes que la disposition votée par le Parlement était absolument

nouvelle, mais elle soulignait immédiatement l'efficacité de l'arme qui lui était fournie ; elle déclarait que « le privilège général du Trésor en matière de contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre prime tous autres privilèges, à l'exception du privilège pour frais de justice. » Mais ce privilège était dispensé d'inscription, la loi du 25 juin 1920 étant muette sur ce point ». Dans l'application, les inconvénients du privilège occulte du Trésor se précisèrent à mesure que les recherches du fisc faisaient augmenter le nombre des assujettis et l'importance des sommes dues au Trésor pour bénéfices de guerre. Un industriel ne trouve en ce moment que difficilement des acquéreurs pour ses immeubles ou des prêteurs sur hypothèques et, cependant, ses besoins de disponibilités se font plus pressants à mesure que la crise économique devient plus intense.

Le Trésor éprouvait par suite lui-même des difficultés à recouvrer le montant de ses réclamations, à les garantir tout au moins, et le débiteur à pouvoir payer ses créanciers, son crédit s'affaiblissant en fonction du chiffre de sa dette et de la difficulté de satisfaire aux garanties imposées de part et d'autre.

II. Projet du Gouvernement. Discussion et vote. — Le Gouvernement déposa donc un projet étendant le privilège aux immeubles ; ce projet décidait, en outre, l'inscription du privilège dans les trois mois de la promulgation de la loi pour les rôles déjà mis en recouvrement ou de la publication des rôles pour les titres à émettre ; enfin, il imposait une déclaration à l'assujetti, qui voudrait vendre un immeuble susceptible d'être frappé du privilège ou emprunter sur nantissement et hypothèque.

Ce privilège devait cesser le 1^{er} avril 1926.

Ainsi ce projet supprimait le caractère occulte, aussi nuisible au crédit du débiteur, que par suite désavantageux pour l'Etat créancier, qui trouvait là une cause primordiale de ses déceptions.

Ce projet a été voté par la Chambre au cours d'une unique séance, le 18 février dernier, sans soulever, au cours de la discussion, de résistance sérieuse.

M. René Lefebvre, rapporteur de la Commission du Commerce, exprima ses craintes. Le projet ne paralyserait-il pas les transactions commerciales ? Non, affirmait M. Ringuier. « La loi sur les bénéfices de guerre est moribonde », insistait M. René Lefebvre.

Et M. de Lasteyrie, ministre des Finances, protestant contre cette déclaration, annonçait qu'il y avait 3 milliards de francs encore à percevoir, qu'il fallait à tout prix les récupérer !

Pour M. Lafarge, il devait suffire de revenir aux principes du droit commun, c'est-à-dire à l'inscription, et, suivant le cas, à la purge préventive. Le texte gouvernemental et les conclusions de la Commission des Finances lui paraissaient donc acceptables.

On passa au vote des articles. M. Raynaldy demandait que le privilège du Trésor respectât les droits acquis, à la date où il prend naissance. MM. Bokanowsky et Lafarge soutinrent la thèse gouvernementale avec habileté.

Plusieurs amendements furent longuement développés, rapidement écartés, et la Chambre, à l'unanimité des 518 votants, accepta le projet de loi du Gouvernement.

III. Analyse du projet voté par la Chambre. —

Leprojet ainsi voté par la Chambre, et que la commission compétente du Sénat aurait déjà fait sien, stipule que « le privilège général du Trésor ne pourra s'exercer à l'égard des tiers ayant acquis, postérieurement à la mise en vigueur de la loi du 25 juin 1920, des droits de propriété, de privilège, hypothèque ou autre droit réel sur les immeubles, les fonds de commerce, les navires construits ou en construction et les bâtiments de navigation intérieure de plus de vingt tonnes, qu'à la condition d'avoir été rendu public par une inscription ».

« Cette inscription devra être opérée dans le délai de trois mois à partir de la promulgation de la présente loi, en ce qui concerne les impositions comprises dans les rôles mis en recouvrement et dans les trois mois de la publication des rôles pour les titres à émettre jusqu'au 31 décembre 1925. A défaut d'inscription dans ce délai, le privilège du Trésor ne prendra rang, comme une hypothèque, qu'à partir de la date de son inscription ».

Pour l'application de ce principe, la loi contient un certain nombre de dispositions de détails dont voici les principales :

1° Le redevable devra, sur la demande du percepteur, fournir la liste des immeubles, fonds de commerce, navires, dont il est propriétaire ;

2° L'inscription sera requise par le percepteur ;

3° Quiconque voudra acquérir sur un immeuble, un fonds de commerce ou un navire un droit opposable au Trésor, devra faire connaître l'acquisition ou le prêt au trésorier-payeur général ; le vendeur ou l'entrepreneur y joindra une déclaration faisant connaître qu'il n'a pas réalisé de bénéfices de guerre ou indiquant le montant de la contribution à laquelle il a été soumis et la partie de l'impôt payée. Si, dans le délai d'un mois, le Trésor n'a pas inscrit son privilège, celui-ci sera opposable au prêteur ou à l'acquéreur.

La situation sera rétablie dans un délai de trois mois à partir de la promulgation de la loi, qui doit intervenir, et les tiers sauront dans quelle mesure les immeubles qui les intéressent sont grevés par le privilège du Trésor.

IV. Critiques. — Une observation capitale doit porter sur la situation créée pour ceux ayant traité de

bonne foi entre la mise en vigueur de la loi de finances de 1920 (25 juin) et la mise en vigueur de la nouvelle loi à intervenir.

Ils ont pu croire à l'affirmation de leurs co-contractants, qu'il n'était pas ou plus dû par ceux-ci de bénéfices de guerre, et ils ont contracté en tablant sur la priorité de leur inscription ou tout au moins de leur créance, s'ils n'ont pas jugé utile de constituer de gage.

Pour les acquéreurs de bonne foi, l'article 23 de la loi, votée par la Chambre, stipule que le privilège du Trésor ne sera pas opposable aux acquéreurs de bonne foi, de même le privilège du vendeur de bonne foi. Mais cette disposition ne vise en aucune manière le prêteur, auquel une hypothèque a été consentie également de bonne foi.

C'est ce qu'avait voulu résoudre M. Raynaldy en proposant son amendement. Il estimait qu'on ne devait pas traiter différemment le créancier hypothécaire et l'acquéreur.

Et il semble bien qu'il avait raison ; en effet, au point de vue juridique, on ne peut admettre qu'un droit réel occulte greève un immeuble et soit opposé à un tiers, qui a traité de bonne foi, après s'être entouré de toutes les garanties. Pour que ce soit possible, il aurait été nécessaire que la loi du 25 juin 1920 le dit expressément ; or, elle est muette sur cette question.

Au point de vue économique, il résulterait de l'adoption du texte voté par la Chambre des Députés un bouleversement pour un grand nombre d'opérations de crédit faites de bonne foi ; les prêteurs se verraient dans l'obligation d'exiger le remboursement de nombreuses avances, consenties en raison de sûretés réelles, et de refuser toutes nouvelles opérations jusqu'à ce que la loi soit entrée complètement en vigueur. Il est inutile d'insister sur les inconvénients que pourrait avoir ce procédé dans la période actuelle.

Les adversaires de l'amendement Raynaldy ont prétendu qu'il faciliterait les fraudes ; mais on pourrait laisser au Trésor, et ceci conformément au droit commun, l'action Paulienne qui permet toujours de résilier des actes faits en fraude des droits des créanciers. Or, le Trésor est créancier de l'assujetti et il a tous les droits ordinaires des créanciers ; rien ne l'empêche d'exercer les droits, qu'il tient de son caractère de créancier en général, et d'invoquer notamment le bénéfice des dispositions de l'article 1167 du Code civil.

Peut-être pourrait-on faire au projet d'autres objections, si toutefois on ne devait considérer le but moral qu'il poursuit et son caractère temporaire, comme la nécessité d'aboutir rapidement.

En tous cas, il semble qu'il ne soit acceptable que complété par l'incorporation de l'amendement Raynaldy ou une disposition analogue.

Ainsi amélioré le projet, devenu loi, apporterait dans les tractations commerciales une sécurité, que le régime actuel a ébranlée, tout en assurant au Trésor des garanties supplémentaires.

FERNAND-JACQ,
Docteur en droit,
Avocat à la Cour d'Appel de Paris

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 18.

6 MAI 1922.

Chronique. — Sur la propulsion des navires par moteurs Diesel, génératrices et moteurs électriques. — Bibliographies : Electrical Trades Directory and Handbook for 1922; Électricité et matière, par sir J.-J. Thomson; Travail des métaux, par Jacques MICHEL, p. 641-642.

Section scientifique et technique. — Essai d'une théorie générale des diagrammes vectoriels en électricité (*suite et fin*), par LÉON OTS-CHEVALIER, p. 643. — Quelques théorèmes sur les oscillations propres des systèmes de circuits, par LÉON BOUTHILLON, p. 656. — Revues, analyses et informations : Caractéristiques de transmission des câbles sous-marins, p. 661.

Section industrielle. — Sur les détériorations des canalisations métalliques souterraines, par MAURICE GUTIÉRRES, p. 663. — Sur la mise à la terre du neutre d'une ligne ou d'un réseau triphasé, par M. KÖCHLIN, p. 666. — Revues, analyses et informations : La sécheresse des années 1920-1921 dans la région des Alpes et le Sud-Est de la France, p. 669; Les enroulements d'induits des machines à courant continu, p. 673; Nouvelle pompe moléculaire, p. 674; Détermination, à priori, par le calcul des pertes de chaleur dans les fours électriques, p. 674.

Section économique et financière. — Le mécanisme des assurances sociales, projet de loi du 22 mars 1921, par FERNAND-JACO, p. 675.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Proposition de loi sur la cession du service téléphonique à une société privée, p. 679; Loi relative au mode de calcul de l'impôt sur les chemins de fer d'intérêt général et les voies ferrées d'intérêt local, p. 679; Circulaire indiquant le mode de calcul de l'impôt sur les chemins de fer d'intérêt général et les voies ferrées d'intérêt local, p. 680; Sur les dépenses engagées pendant la guerre par le ministre des Travaux publics pour assurer la distribution de l'énergie électrique, p. 680; Sur la perception de l'impôt sur les salaires par les patrons, p. 680.

Sur la propulsion des navires par moteurs Diesel, génératrices et moteurs électriques. — Nous recevons, à ce sujet, la lettre suivante de M. Marcel de Coninck :

Je vous serais reconnaissant si vous vouliez bien insérer, dans un de vos prochains numéros, la petite note suivante, par laquelle je précise un point d'une question que j'ai étudiée tout particulièrement.

Dans son intéressant article paru dans la « R. G. E. » du 15 avril, t. XI, p. 535-543, M. Y. Le Gallou, a exposé très judicieusement les avantages du système « Diesel électrique » pour la propulsion des navires, en y apportant cependant deux restrictions :

1° La consommation de combustible serait augmentée d'environ 20 pour 100 par rapport à une commande directe, du fait des pertes électriques dans la transmission ;

2° L'installation générale pourrait être plus compliquée.

Il nous semble que ces réserves ne peuvent pas s'appliquer à la transmission électrique en général, mais seulement au cas d'une transmission par courant continu.

On peut améliorer de beaucoup le rendement de la transmission, tout en allégeant le matériel électrique, en faisant appel au courant alternatif et plus particulièrement à la solution avec génératrices asynchrones et moteurs de propulsion du type à pôles saillants, avec excitation par courant continu, fournissant aux génératrices l'énergie réactive nécessaire. (Voir Bulletin de la Société française des Électriciens, juin 1921). Le rendement d'une telle transmission

peut atteindre facilement 90 pour 100. Il faut tenir compte, d'autre part, que le système Diesel électrique permet de donner à l'hélice la vitesse optimum. Si, par exemple, la diminution du nombre de tours de l'hélice a pour conséquence d'élever son rendement de 60 pour 100 à 63 pour 100, la consommation de combustible ne sera augmentée que de 5 pour 100. Il faudrait, en outre, déduire de ce chiffre l'économie réalisée sur les frottements des paliers de la ligne d'arbres, beaucoup plus courte si le moteur est placé à l'extrême-arrière.

Enfin, les facilités d'entretien des moteurs Diesel dues au fractionnement de la puissance motrice permettent d'utiliser des huiles moins pures et, par suite, moins coûteuses.

Quant à l'augmentation du volume des soutes à combustible, il semble que, si elle n'atteint que 5 pour 100 environ, un aussi faible inconvénient ne contre-balancerait pas, à beaucoup près, les autres avantages du système Diesel électrique, étant donné surtout que l'on peut utiliser pour ces soutes des espaces du navire impropres au logement des marchandises.

Les machines électriques à courant alternatif sont notablement moins coûteuses comme achat et entretien que les machines à courant continu. En particulier, les génératrices asynchrones du type à cage d'écureuil sont extrêmement robustes et permettent de réaliser facilement plusieurs régimes de marche par des changements de couplage et le réglage de l'excitation des moteurs d'hélice. Leur mise en parallèle ne présente aucune difficulté.

Nous partageons entièrement l'opinion de l'auteur sur

l'intérêt qu'il y aurait à développer en France l'application des machines à combustion interne à la propulsion des navires.

Il serait vain cependant de se dissimuler que, dans ce domaine, le moteur Diesel sent déjà peser sur lui une grave menace : l'apparition de la *turbine à gaz* qui, d'après certains techniciens étrangers, pourrait surgir « d'une minute à l'autre ». Il faut bien reconnaître, en effet, que les jugements défavorables qui ont été portés trop souvent à l'encontre de ce genre de machines ne reposent que sur des bases bien fragiles et, en particulier, sur des évaluations pessimistes du rendement mécanique de la turbine et du compresseur. (Voir la *Technique moderne*, juin 1920.)

Il ne faut pas perdre de vue que, si ce rendement pouvait atteindre 100 pour 100, il suffirait, pour avoir une consommation de combustible comparable à celle des meilleurs moteurs Diesel, de chauffer les gaz à une température de l'ordre de 200° C seulement.

Il n'y a aucune raison, croyons-nous, pour attribuer au rendement les valeurs de 60 à 70 pour 100 que l'on rencontre dans les turbines à vapeur et les compresseurs centrifuges, plutôt que des chiffres voisins de 93 pour 100 qui sont atteints dans les turbines hydrauliques modernes, malgré que l'importance relative des pertes par frottement du fluide soit plus grande pour l'eau que pour les gaz.

Il va sans dire que l'adoption de la turbine à combustion continue comme force motrice à bord des navires impliquerait presque obligatoirement la transmission électrique. Il n'y aurait donc rien à perdre à développer celle-ci dès maintenant.

Bibliographie : Electrical Trades Directory and Handbook for 1922 (1). — Notre confrère anglais « The Electrician » vient de faire paraître la 40^e édition, correspondant à l'année 1922, de son Annuaire et Manuel de l'industrie électrique, universellement connu sous le nom de « The blue Book ».

Les différentes matières qui composent cet annuaire sont ainsi divisées :

Une importante publicité de nombreuses maisons anglaises, classées selon leurs spécialités comprend 108 pages (p. 1 à cviii).

L'annuaire proprement dit, contenant des tables de conversion d'unités, de mesures, de monnaies dans les différents pays ; les nouvelles définitions de certaines unités d'après les discussions qui ont pu avoir lieu au cours de l'année 1921 ; les règles d'unification ; les prescriptions de sécurité en vigueur dans les différents pays ; des tableaux et abaques relatifs à divers problèmes courants de l'industrie électrique ; les droits d'importation et d'exportation pour des objets relatifs à l'industrie électrique et pour divers pays, etc., comprennent les pages de 1 à 434.

Une liste alphabétique de noms d'ingénieurs-électriciens comprend environ 400 pages.

De la page 853 à la page 1 174 sont classés, par ordre alphabétique et par spécialités, les noms des firmes anglaises se rapportant à l'industrie électrique en Grande-Bretagne.

Une classification des firmes anglaises établies dans les colonies est donnée dans les pages 1 176 à 1 242 ; celle des firmes anglaises établies sur les continents comprend les pages 1 178 à 1 352.

(1) Un volume relié, format 24 cm 16 cm, 1 352 pages. Edité par Benn Brothers Ltd. « The Electrician » Offices, 8, Bouverie Street, Londres E. C. 4. Prix : 25 sh, net, frais de transport en plus.

Bibliographie. Electricité et matière, par Sir J.-J. THOMSON, professeur de physique expérimentale à l'Université de Cambridge, membre de la Société royale de Londres, traduit de l'anglais par M. SOLOVINE, préface de P. LANGEVIN, professeur au Collège de France (1). — L'auteur se propose d'exposer les liens étroits qui existent entre l'électricité et la matière.

Prolongeant, par ses propres travaux, les recherches de Faraday et de Maxwell sur la représentation du champ par des lignes de force, J.-J. Thomson interprète successivement le mouvement uniforme et le mouvement accéléré d'un tube de Faraday, auquel l'éther est lié. Il explique l'accroissement de la masse d'une particule électrique en mouvement, l'échange de quantité de mouvement et d'énergie cinétique entre le champ et la particule, la génération des rayons de Röntgen. Après avoir rappelé les expériences fondamentales qui imposent la conception de la structure granulaire de l'électricité, l'auteur étudie la structure de l'atome chimique ; il montre comment les constituants de l'atome perdent ou gagnent de l'énergie cinétique, comment leur groupement rend compte des raies spectrales, comment peuvent s'engendrer et se détruire les édifices moléculaires. Un chapitre spécial, consacré à la radioactivité, illustre l'application à un cas concret, des vues théoriques développées dans l'ouvrage.

Ce petit livre, « modèle de concision et de clarté », écrit M. Langevin dans la préface, s'adresse aux lecteurs soucieux de posséder un résumé des notions, éparses dans d'innombrables mémoires, qui sont indispensables à la compréhension des travaux des Curie, des Poincaré, des Rutherford, des Lorentz, des Wien, des Einstein. — J. R.

Bibliographie : Travail des métaux, par Jacques MICHEL, seconde édition revue et augmentée. Nouvelle collection des recueils de recettes rationnelles (2). — Ce recueil n'a pas été précisément écrit pour des débutants ; il suppose que le lecteur possède déjà certaines notions du travail mécanique et, par conséquent, s'adresse plus particulièrement aux ingénieurs et aux ouvriers déjà formés par une longue fréquentation de l'atelier ; d'autre part, il se différencie nettement des ouvrages similaires parce que les recettes y sont classées et coordonnées rationnellement et qu'elles sont toujours précédées d'une partie didactique qui en atténue l'aridité. On y trouvera, par exemple, des renseignements sur la composition des bronzes, sur la composition des ciments et des soudures ; un petit cours sur les réactions qui se développent dans l'aluminothermie, sur la gravure des métaux, sur la protection des surfaces métalliques, etc. Ces notions intéressent d'ailleurs tout le monde et seront lues avec profit même par ceux que ne tente pas le travail mécanique. Les recettes, bien que puisées dans d'autres ouvrages comme le prouve l'index bibliographique apposé à chacune d'elles, ont été l'objet d'une rédaction nouvelle portant aussi bien sur un perfectionnement du tour de main indiqué que sur une révision des proportions utilisées dans certains mélanges. C'est donc un livre original, parfaitement mis au point. — B. C.

(1) Un volume 16 cm × 13 cm de x-132 pages, avec un portrait et 19 figures dans le texte, de la collection Science et Civilisation, édité par Gauthier-Villars et C^{ie}, quai des Grands-Augustins, 55, Paris (VI^e). Prix : broché, 6,50 fr.

(2) Un volume, 19 cm × 12 cm, de 355 pages avec 153 fig., dans le texte, édité par la Librairie générale scientifique et industrielle Desforges, 29, quai des Grands-Augustins, Paris VI^e. Prix : broché, 10 fr.

sidéré. Il suffira d'y remplacer la variable par chacune des trois valeurs choisies ci-dessus.

L'examen de cette formule montrera, d'ailleurs, s'il est préférable de tracer son diagramme directement ou par inversion de son diagramme d'impédance. Ce dernier cas se présentera surtout lorsque ce diagramme est rectiligne ⁽¹⁾, car son tracé est simple et il peut servir de droite-échelle.

DE LA VARIABLE. — On choisira, comme point de rayonnement P, soit un point quelconque du diagramme, soit un de ses points caractéristiques (fig. 2); puis l'on tracera la droite-échelle correspondante.

Lorsque le point I_{∞} (ou Z_{∞} pour lequel la variable considérée est infinie) est connu, cette droite-échelle sera simplement une parallèle quelconque à $P I_{\infty}$ (ou $P Z_{\infty}$ (p. 574).

Lorsque ce point n'est pas connu, on déterminera la direction de la droite-échelle par la construction donnée page 574 et 575 (fig. 8).

De toutes façons, pour déterminer cette droite-échelle complètement (avec dimensions de la variable), il suffit, comme nous l'avons dit ci-dessus, de connaître les valeurs de la variable correspondant à trois points déterminés du diagramme (p. 574).

DES FONCTIONS DE COURANT. — Pour déterminer la caractéristique-droite d'une fonction de courants f , il suffira de connaître les valeurs de f pour trois points quelconques du diagramme.

Lorsque f s'annule pour deux points du diagramme, on cherchera à les déterminer, car la caractéristique cherchée est simplement la droite qui les joint. Lorsque f ne s'annule que pour un seul point, la caractéristique est la tangente en ce point au diagramme. Lorsque les points pour lesquels f s'annule sont inconnus ou imaginaires, on pourra employer la méthode générale donnée page 607 (fig. 10).

Souvent aussi, on pourra utiliser la propriété des trois caractéristiques se coupant en un même point (p. 607), car lorsque l'on connaît deux de ces caractéristiques, on sait que la troisième passe par leur point de rencontre. Cette dernière caractéristique sera donc déterminée, si l'on connaît sa direction ou tout autre point par lequel elle doit passer ⁽²⁾.

La caractéristique cherchée étant tracée, on mesurera les valeurs de la fonction f par des parallèles à une direction quelconque, à une échelle qui sera déterminée facilement si l'on connaît la valeur de f pour un des points du diagramme (p. 606).

Les puissances (absorbée, utile, pertes) d'un même circuit pourront se mesurer, à la même échelle, si cette mesure se fait suivant des parallèles à la caractéristique de l'une de ces trois fonctions (p. 608) fig. 11).

III. — Diagramme fermé du quatrième degré.

— **EXEMPLES.** — Nous avons vu (t. VII, p. 322), et ce

⁽¹⁾ Ce fait peut être constaté sans avoir à résoudre les équations (t. VII, p. 322).

⁽²⁾ Voir application de cette méthode page 646.

par le simple examen de leurs équations, que les moteurs suivants ont tous leurs diagrammes de courants fermés et du quatrième degré.

| | |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Monophasés | { c Répulsion compensé Lacour. d Shunt Latour. |
| Polyphasés | { m Série à collecteur avec tension variable dérivée sur le rotor. k Asynchrone. Asynchrone en cascade. |

TRACÉ. — Pour déterminer géométriquement un diagramme fermé du quatrième degré, il suffirait d'en connaître sept éléments ⁽¹⁾ (points ou tangentes), ainsi que les valeurs de la variable de trois points connus (p. 577) ⁽²⁾. Mais, en pratique, il sera généralement plus commode d'établir les équations de la machine, d'en déduire la formule du courant considéré et de tracer son diagramme par inversion d'une courbe du second degré, par rapport à son point double (p. 569 et suiv.).

Lorsque le diagramme d'impédance correspondant est du second degré ⁽³⁾, ce point double coïncide avec l'origine des coordonnées. Sinon, il conviendra de déterminer sa position, soit par le calcul, soit graphiquement comme nous l'avons vu page 570 (fig. 6).

La courbe inverse du second degré est généralement une parabole ou une hyperbole. Une parabole se trace facilement et directement en fonction de sa formule (t. VII, p. 351). Pour une hyperbole, la détermination préalable de son centre (p. 566) et les directions de ses asymptotes (p. 567) facilitera beaucoup son tracé.

DE LA VARIABLE. — Le tracé précédent conduit à prendre la courbe inverse du second degré comme courbe-échelle intermédiaire (p. 577).

La droite-échelle de cette dernière se détermine absolument dans les mêmes conditions et de la même façon que pour le diagramme circulaire que nous avons vu ci-dessus.

Dans le cas particulier où le point correspondant à une valeur infinie de la variable se trouve à l'infini sur la courbe inverse du second degré, on pourra considérer toute droite du plan, comme droite-échelle par droites parallèles, la direction de celles-ci étant donnée par celle du second point à l'infini de la courbe (p. 573 et 576).

DES FONCTIONS DE COURANT. — Les caractéristiques sont au maximum du quatrième degré. Leur échelle peut toujours se ramener au second degré et, dans le cas particulier où la fonction de courants considérée f passe deux fois par la même valeur au point double du diagramme, cette échelle peut se ramener à une droite (p. 608).

⁽¹⁾ La formule analytique de ces diagrammes (note p. 569), contient en effet sept paramètres.

⁽²⁾ Cela fait, au total, dix éléments que l'on peut partager autrement : par exemple, il suffit de connaître cinq points avec les cinq valeurs correspondantes de la variable. Pour plus de détails à ce sujet voir appendice.

⁽³⁾ Ce fait se constate facilement par le simple examen des équations.

Généralement, l'un des diagrammes de la machine répond à cette dernière condition, même pour différentes fonctions de courants. On le choisira de préférence comme base des caractéristiques ⁽¹⁾.

Dans ce cas, pour déterminer la caractéristique d'une fonction de courants, il suffira de connaître soit les valeurs de celles-ci pour cinq points ⁽²⁾ déterminés du diagramme (p. 609), soit la formule de cette fonction (p. 609).

On en déduit la position du point de rayonnement Q, la grandeur de la constante K et la droite-échelle de la caractéristique Y (p. 609).

Cela étant, on pourra déterminer graphiquement tout point de cette caractéristique par la rencontre d'une rayonnante passant par Q et d'une parallèle à la constante K, partant de I; cette parallèle mesure d'ailleurs la fonction de courant f considérée (p. 609).

Ces droites déterminantes peuvent coïncider pour une certaine valeur de la variable; le point de rencontre correspondant est donc indéterminé; mais on peut facilement le calculer (p. 610).

Les puissances absorbée, utile, pertes) d'un même circuit peuvent se mesurer sur une même droite et à la même échelle, pourvu que l'on choisisse convenablement la grandeur et la direction de la constante K (p. 610).

IV. Moteur série simple monophasé. — TRACÉ. —

VARIABLE. — Nous avons reproduit (fig. 12) le diagramme d'impédance rectiligne $Z_0 Z_1$ et de courant circulaire de ce moteur, dont nous avons donné le tracé précédemment (t. VII, p. 352).

Nous avons vu à cette occasion que le diagramme $Z_0 Z_1$ peut être choisi comme sa propre droite-échelle. Si l'on désire considérer d'autres échelles de diagramme rectiligne, on devra choisir leur point de rayonnement. Ce point est quelconque; mais, pour pouvoir s'en servir également pour le diagramme inverse de courant, il convient de le prendre sur ce dernier diagramme. L'origine O des vecteurs répond à cette condition. Nous l'avons choisie comme tel (fig. 12) pour la droite des w : $W_0 W_1$ parallèle à OZ_x (ou à $Z_0 Z_1$), ainsi que pour la droite des $\frac{1}{w}$: $G_0 G_1$ parallèle à OZ_0 .

Ces droites-échelles convenant également pour le diagramme de courant, il en résulte que, pour un point I quelconque de ce diagramme, on a

$$\frac{w}{a} = \frac{W_0 W_1}{W_0 W_1} \quad \text{et} \quad \frac{a}{w} = \frac{G_0 G_1}{G_0 G_1}.$$

FONCTIONS DE COURANTS. — 1. Couple et pertes par effet Joule, c et p. — Ces fonctions sont toutes deux proportionnelles au carré du module du courant. Comme

⁽¹⁾ Voir exemple page 650.

⁽²⁾ Ce nombre suffit même dans le cas général, voir à ce sujet appendice.

celui-ci s'annule, uniquement, pour $w = \infty$ (en O), il en sera de même de ces fonctions. Leur caractéristique sera donc la tangente Oi' en O au diagramme.

Ainsi, les couples en I_0, C_1, I se mesureront, par exemple, par les distances $I_0 C_0, I_1 C_1, I C$. Elles sont tracées horizontalement dans la figure 12, mais elles pourraient avoir une direction constante quelconque.

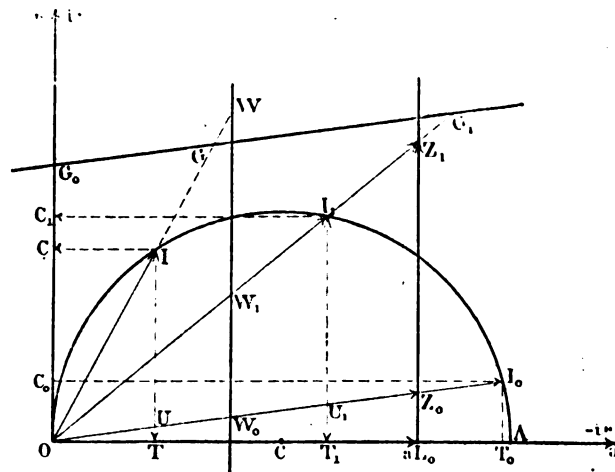


Fig. 12. — Moteur série simple monophasé. Diagramme. Droites-échelles. Caractéristiques.

Pour déterminer l'échelle de ces grandeurs, il suffit de connaître la valeur de la fonction, correspondant à un point quelconque I_0, I_1 ou I du diagramme.

2. Puissance utile, u . — Elle est nulle en I_0 et en O (i_z), sa caractéristique est donc la droite $O I_0$.

3. Puissance absorbée, t . — Sa caractéristique est l'axe horizontal $O-i'$ ⁽¹⁾.

D'après ce que nous avons vu (p. 604, fig. 11) ces puissances peuvent se mesurer à la même échelle, sur des parallèles à la caractéristique des pertes $p = t - u$, c'est-à-dire l'axe vertical $O i'$.

Ainsi, on aura respectivement (fig. 11) pour

| | | | |
|--------------------------|-----------|---------------------------|----------------------|
| les points..... | I_0 | I_1 | I |
| Puissances utiles..... | zéro | $I_1 U_1$ | $I U$ |
| Puissances absorbées.... | $I_0 T_0$ | $I_1 T_1$ | $I T$ ⁽²⁾ |
| Pertes..... | $I_0 T_1$ | $I_1 U_1$ | $I U$ |
| Rendement..... | zéro | $\frac{I_1 U_1}{I_1 T_1}$ | $\frac{I U}{I T}$ |

V. Moteur asynchrone polyphasé. — TRACÉ.

VARIABLE. — Nous avons donné précédemment (t. VII, p. 353) le tracé des diagrammes circulaires de ce moteur, ainsi que de ses droites-échelles des g et des $\frac{1}{g}$.

⁽¹⁾ Propriété générale (voir p. 655).

⁽²⁾ Rappelons que nous ne tenons compte dans cette étude que des pertes par effet Joule.

$s + r$ et ce, à une échelle moitié de l'échelle commune de S et de R .

Il en résulte que l'on mesurera à la même échelle, respectivement pour

| | | | | |
|---------------------|------------|-------|------------|----------------------|
| les points..... | l_0 | l | l_1 | l_∞ |
| Pertes stator..... | $l_0 S_0$ | lS | $l_1 S_1$ | $l_\infty S_\infty$ |
| Pertes rotor..... | zéro | lR | $l_1 R_1$ | $l_\infty R_\infty$ |
| Pertes totales..... | $2l_0 P_0$ | $2lP$ | $2l_1 P_1$ | $2l_\infty P_\infty$ |

Lorsque la direction D diffère sensiblement de l'horizontale, il sera pratiquement plus commode de mesurer s et r suivant une même direction (par exemple horizontale), mais à des échelles différentes ⁽¹⁾.

VI. Moteur à répulsion compensé Latour. — RAPPEL. — Nous avons donné précédemment (t. VII, p. 356), les équations de cette machine

$$E = (Z_s + Z_r + \omega M_s)I + (\omega M_r + jaM)J, \quad (64)$$

$$0 = (-\omega M_r + jaM)I + \dots Z_c J,$$

ainsi que le tracé (fig. 15) de son diagramme d'impédance parabolique

$$Z = Z_s + Z_r + \omega M_s + \frac{\omega^2 M_r^2 + a^2 M^2}{Z_c}, \quad (65)$$

et celui de son inverse, diagramme du courant principal, fermé du quatrième degré

$$I = \frac{E}{Z}. \quad (66)$$

Nous avons fait remarquer que l'expression (65) de Z peut s'écrire avec une grande approximation ⁽²⁾ sous la forme

$$Z = Z_0 + aM \frac{\omega}{a} + Z_r \frac{\omega^2}{a^2} \quad (67)$$

dans laquelle

$$Z_0 = R_0 + jX_0$$

$$= R_s + R_r \left(1 + \frac{s^2}{c^2}\right) + j \left[\left(aL_s - \frac{a^2 M^2}{aL_r}\right) + aL_r \right].$$

De la seconde des équations (64), on déduit, pour le courant J du court-circuit, la formule suivante

$$J = \frac{-jaM + \omega M_r}{Z_c} I,$$

⁽¹⁾ Lorsque $R_r a^2 M^2 = R_s a^2 L_r^2$ la valeur des $-r$ (voir note 1, p. 646) s'annule pour $g = \infty$; c'est-à-dire que D se confond avec la tangente OL_∞ . Lorsque $R_r a^2 M^2 < R_s a^2 L_r^2$, la fonction $s - r$ ne s'annule jamais (cas de la figure 14) et la direction de D se rapproche de l'horizontale. Lorsque $R_r a^2 M^2 > R_s a^2 L_r^2$, la direction de D est plus verticale. Dans ce dernier cas surtout, la mesure à la même échelle est peu pratique, étant donné que le point Q est généralement en dehors de la figure.

⁽²⁾ Nous ne faisons cette approximation que dans le but d'avoir des formules plus caractéristiques.

⁽³⁾ Les figures 15, 16 et 17 sont relatives aux valeurs suivantes de ces composantes: $R_0 = 0,15$; $X_0 = 0,75$; $aM = 1$; $R_r = 0,63$ et $aL_r = 0,65$.

soit avec une grande approximation

$$J = \frac{-jaM + aL_r \frac{\omega}{a}}{Z_r} I. \quad (68)$$

Nous avons donné (t. VII, p. 357) le tracé du diagramme correspondant de J en fonction de I . C'est une droite $A_0 A_1$ (fig. 16).

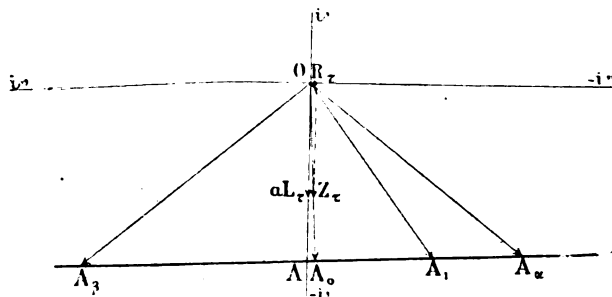


Fig. 16. — Moteur à répulsion compensé Latour. Diagramme de J en fonction de I .

COURANT DU COURT-CIRCUIT. — Des formules (66), (67) et (68) on déduit

$$J = E \frac{-jaM + aL_r \frac{\omega}{a}}{Z_r \left(Z_0 + aM \frac{\omega}{a} + Z_r \frac{\omega^2}{a^2} \right)}. \quad (69)$$

Le diagramme de ce courant est un diagramme fermé du quatrième degré. Nous pouvons le tracer (page 568) par la détermination de son hyperbole inverse, en ramenant sa formule (69) à la forme

$$J = D + K \frac{a_0 + a_1 \frac{\omega}{a} + a_2 \frac{\omega^2}{a^2}}{Z_0 + aM \frac{\omega}{a} + Z_r \frac{\omega^2}{a^2}}$$

$$= D + \frac{K}{E} I \left(a_0 + a_1 \frac{\omega}{a} + a_2 \frac{\omega^2}{a^2} \right). \quad (70)$$

Dans ce but on pourra, soit calculer a_0 , a_1 et a_2 ⁽¹⁾ et par suite D et K (p. 569); soit opérer graphiquement comme nous l'indiquons ci-après.

Le diagramme $A_0 A_1$ (fig. 16) permet de déterminer n'importe quel point du diagramme direct de J (fig. 17); donc, en particulier, J_0 ($\omega = 0$) et J_1 ($\omega = a$). D'ailleurs, d'après (69), J_∞ coïncide avec l'origine O des vecteurs.

Déterminons les points correspondant caractéristiques J_0 , J_1 et $J_\infty = 0$ (fig. 17), puis traçons sur les

⁽¹⁾ Par le calcul, on trouve avec les données de la note (3) ci-contre.

$$\frac{a_0}{a_2} = \frac{R_0 R_r - a^2 M^2 - X_0 a L_r}{R_r^2 + a^2 L_r^2} = 3,5;$$

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{R_r (a^2 M^2 + X_0 a L_r) + R_0 a^2 L_r^2}{a M (R_r^2 + a^2 L_r^2)} = 0,25.$$

droites J_0O , J_0J_1 et J_1O comme cordes, les circonférences capables respectivement des angles I_0OB , I_0OI_1 et I_1OB ; elles se coupent toutes trois ⁽¹⁾ au point double D du diagramme J .

La direction de la constante K (fig. 17) des formules (70) est donnée par celle de DJ_0 par rapport à OI_0 ⁽¹⁾. Sa grandeur est arbitraire; prenons-la, par exemple, égale à E . En ce cas, en supposant que les

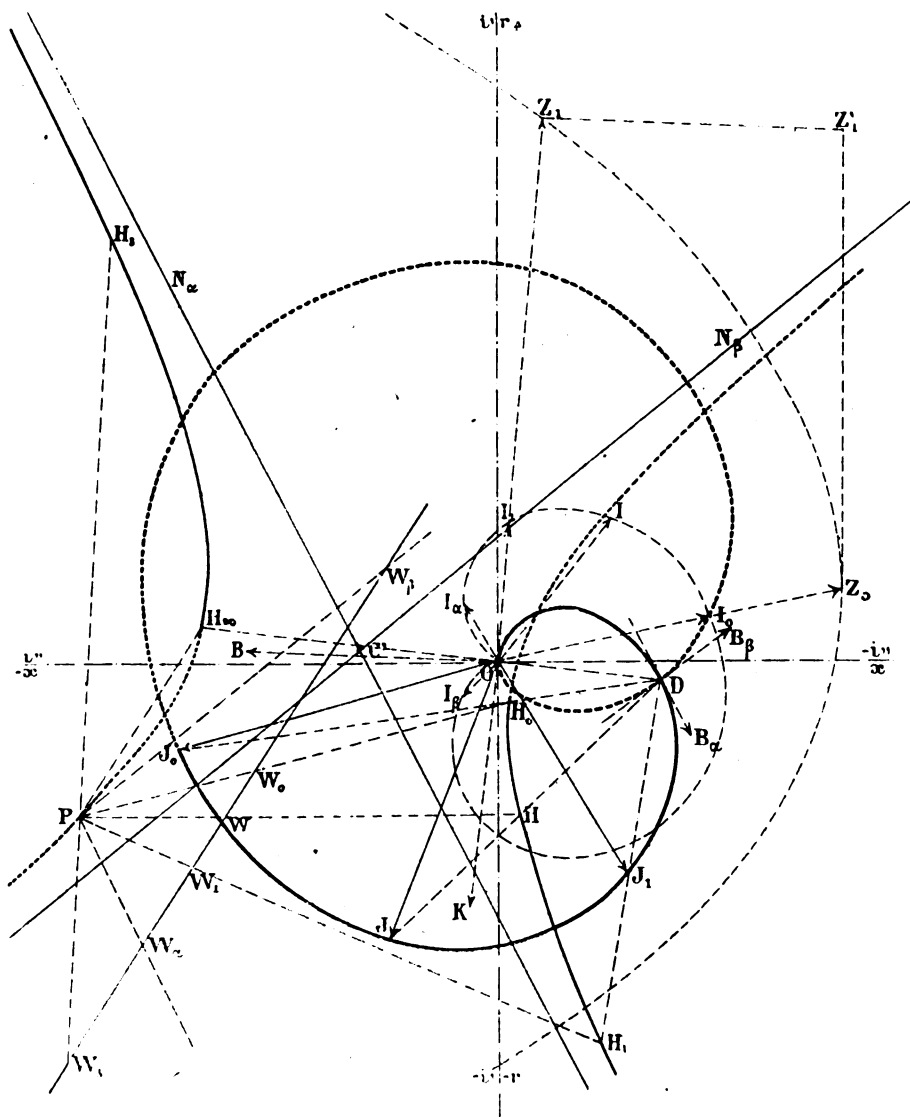


Fig. 17. — Moteur à répulsion compensé Latour. Diagramme du court-circuit.

lettres a_0 , a_1 et a_2 contiennent implicitement la direction de K , la formule (70) donne

$$\begin{aligned} J_0 &= D + a_0 I_0, \\ J_x &= D + a_2 \frac{E}{Z_r}, \\ J_1 &= D + (a_0 + a_1 + a_2) J_1, \end{aligned}$$

⁽¹⁾ Il suffit naturellement d'en tracer deux. Nous ne les avons d'ailleurs pas représentées (fig. 17) pour la clarté de la figure.

formules dont on déduit que

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{J_0 - D}{I_0} = \frac{DJ_0}{OI_0}, \\ a_2 &= \frac{J_x - D}{\frac{E}{Z_r}} = OD \frac{Z_1 Z_1}{E} = \frac{OD}{OI_0} \cdot \frac{Z_1 Z_1}{OZ_0}, \\ a_0 + a_1 + a_2 &= \frac{J_1 - D}{I_1} = \frac{DJ_1}{OI_1}; \end{aligned}$$

⁽¹⁾ D'une façon générale de tout vecteur JD par rapport à OI_1 .

ces formules permettent de calculer les valeurs de a_0 , a_1 et a_2 ⁽¹⁾.

Déterminons les racines α et β de l'équation

$$a_0 + a_1 \frac{\omega}{a} + a_2 \frac{\omega^2}{a^2} = 0 \quad (2).$$

Nous pourrions vérifier par la détermination directe de J_x et de J_z à l'aide de la figure 16 (en A_x et A_z), que ces points coïncident bien au point double D ⁽²⁾.

Les tangentes DB_x , DB_z en ce point (fig. 17) font, avec les vecteurs de courant I_x et I_z , l'angle donné par la constante K .

L'hyperbole H , inverse de J par rapport au point D , est, en somme, un diagramme d'impédance. Son échelle des vecteurs est arbitraire; dans le cas de la figure 17, nous avons pris celle choisie pour le diagramme d'impédance Z , inverse de I par rapport au point Q .

Les points H_0 , H_x et H_z de H se déterminent facilement par inversion des vecteurs DJ_0 , DJ_x et DJ_z .

Son centre C' se déterminera, soit par points correspondants déduits de la formule

$$\frac{\omega'}{a} = \frac{-\left(2a_0 + a_1 \frac{\omega}{a}\right)}{a_1 + 2a_2 \frac{\omega}{a}} \quad (3),$$

soit par la construction du vecteur d'impédance

$$C' = \frac{E}{K} \cdot \frac{-2a_2 Z_0 + a_1 a M - 2a_0 |Z_r|}{a_1^2 - 4a_0 a_2} \quad (5),$$

⁽¹⁾ L'application de ces formules au cas de la figure 17 donne

$$a_0 = \frac{104}{46} = 2,26; \quad a_2 = \frac{-34,5}{46} \times \frac{0,65}{0,76} = -0,615;$$

$$a_0 + a_1 + a_2 = \frac{43}{29,5} = 1,465; \quad \text{d'où} \quad a_1 = -0,16.$$

Ces valeurs correspondent à celles trouvées par le calcul (note ⁽¹⁾).

⁽²⁾ Dans le cas de la figure 17, on a l'équation

$$\left(\frac{\omega}{a}\right)^2 + 0,25 \left(\frac{\omega}{a}\right) - 3,5 = 0,$$

dont les racines sont $\alpha = 1,75$ et $\beta = -1$.

⁽³⁾ Ce moyen pourra être employé pour déterminer D lorsque l'on a obtenu α et β par le calcul.

⁽⁴⁾ Ainsi, pour la figure 17, on a

$$\frac{\omega'}{a} = \frac{-(2a_0 + a_1)}{a_1 + 2a_2} = 3.$$

On déterminera donc le point J_3 et par inversion H_3 ; le centre cherché C' se trouve au milieu de $H_1 H_3$.

⁽⁵⁾ Dans le cas de la figure 17, cette formule peut s'écrire

$$C' = \frac{E}{K} (0,22 Z_0 - 0,027 a M - 0,77 |Z_r|).$$

L'expression $\frac{E}{K}$ vaut l'unité comme grandeur, mais sa direction (comme vecteur d'impédance) est celle du vecteur de courant K représenté figure 17.

tracé à partir du point D pris pour origine des vecteurs.

Puisque $K = E$ en grandeur, il suffira de construire le vecteur d'impédance représenté par la fraction

$$\frac{-2a_2 Z_0 + a_1 a M - 2a_0 Z_r}{a_1^2 - 4a_0 a_2},$$

puis de le rapporter au point D en le faisant tourner de l'angle de K absolument comme pour passer du vecteur OI au vecteur DJ .

Le centre C' étant déterminé, traçons les asymptotes CN_x et CN_z parallèles aux tangentes DB_x et DB_z en D ⁽¹⁾.

On vérifiera que les points H_0 , H_x et H_z déterminés précédemment sont bien des points d'une même hyperbole ayant CN_x et CN_z comme asymptotes.

Cela étant, il sera facile de tracer complètement l'hyperbole H , puis, par inversion par rapport à D , le diagramme cherché J .

Pour la détermination des valeurs de la variable ω , prenons sur H un point de rayonnement P quelconque. La droite des ω sera une parallèle $W_0 W_1$ quelconque à PH_x . D'ailleurs, l'hyperbole H sera la courbe-échelle intermédiaire du diagramme J . Dans ces conditions, la valeur ω d'un point J quelconque correspondant à H sur l'hyperbole se mesurera en W par le rapport $\frac{W_0 W}{W_0 W_1}$ ⁽²⁾.

DES FONCTIONS DE COURANTS. — Les fonctions de courants que nous considérons dépendent toutes du carré des courants I et J ou de leur produit; or, ces courants s'annulent tous deux pour $\omega = \infty$; les fonctions considérées s'annuleront donc deux fois pour cette valeur. Par suite, il est tout indiqué (p. 605) de les rapporter au diagramme du courant principal (fig. 15), qui lui aussi s'annule deux fois pour $\omega = \infty$. Sa formule est d'ailleurs de la forme (p. 648)

$$I = \frac{E}{Z_0 + a M \frac{\omega}{a} + |Z_r| \frac{\omega^2}{a^2}} = E \frac{Z_0 + a M \frac{\omega}{a} + |Z_r| \frac{\omega^2}{a^2}}{d(4)}.$$

Suivant les notations de la page 608, on a donc $\alpha = \beta = \infty$. Choisissons la valeur de γ de telle façon

⁽¹⁾ Les trois points H_0 , H_x et H_z de l'hyperbole étant connus, ainsi que les directions DB_x et DB_z de ses asymptotes, on peut trouver facilement d'autres procédés de construction géométrique, indépendants de la détermination ci-dessus du centre C' .

⁽²⁾ On peut également chercher le point I du diagramme I (dont on connaît les valeurs de ω), qui correspond au point J considéré. Il suffit de mener par O un vecteur faisant avec DJ l'angle de la constante K ; il rencontrera le diagramme de I au point cherché. On pourrait, d'ailleurs, faire correspondre complètement les deux diagrammes en transportant D en O et en faisant tourner J de l'angle de K , de façon à faire coïncider en direction les vecteurs DJ et OI . En ce cas, l'origine des vecteurs J serait déplacée en un point situé à l'opposé de D par rapport à O .

que les puissances absorbée et utile, ainsi que les pertes, puissent se mesurer, sur une même droite, à la même échelle. Puisque ces fonctions s'annulent pour $\omega = \alpha = \beta$, il convient que γ se rapporte à une valeur de ω pour laquelle une des fonctions considérées s'annule également (p. 610). La puissance utile peut satisfaire à cette condition et ce, pour $\omega = 0$. Nous pouvons donc choisir $\gamma = 0$ et, dans ce cas, les fonctions se mesureront sur des parallèles à

$$I_0 I_\infty = I_0 O = I_0 (1).$$

Puissance absorbée, t. — Sa formule est

$$t = E \llbracket I \rrbracket \cos(E, I) = E^2 \frac{R_0 + aM \frac{\omega}{a} + R_r \frac{\omega^2}{a^2}}{d(4)}.$$

Sa caractéristique est l'axe horizontal Oi'' (p. 605). De sorte que les puissances absorbées t_0, t_1 se mesureront, par les distances à cet axe des points I_0, I et I_1 du diagramme. Cela suivant une direction quelconque, en particulier, par les verticales $I_0 T'_0, IT'$, et $I_1 T'_1$; et suivant la direction de I_0 ($\gamma = 0$), par $I_0 O, IT$ et $I_1 T_1$ (fig. 15).

Couple, c. — Sa formule est

$$c = M \llbracket P \rrbracket = \frac{ME^2}{d(4)}.$$

Sa constante K_c pour $\gamma = 0$ vaut

$$K_c = \frac{I_0 - I_\infty}{c_0 - c_\infty} = \frac{I_0}{c_0} = \frac{|Z_0|}{ME},$$

et sa caractéristique

$$c = I - K_c c = E \frac{Z_0 + aM \frac{\omega}{a} + Z_r \frac{\omega^2}{a^2}}{d(4)} - \frac{E|Z_0|}{d(4)},$$

$$= \left(aM + Z_r \frac{\omega}{a} \right) \frac{\omega}{a} \cdot \frac{E}{d(4)}.$$

Nous pouvons donc choisir pour son échelle rectiligne W_0, W, W_1 toute parallèle au diagramme d'impédance donnée par la formule

$$aM + |Z_r| \frac{\omega}{a}.$$

Les points W_0 et W_1 de la figure 15 sont donnés respectivement par $0,5 aM$ et $0,5(aM + |Z_r|)$.

Les couples en I_0, I et I_1 se mesureront donc par $I_0 O, IC$ et $I_1 C_1$; les points W_0, W et W_1 de l'échelle rectiligne correspondant aux points I_0, I et I_1 du diagramme.

Pertes par effet Joule du circuit principal, s. — Ces

(1) On aurait pu choisir pour γ la valeur de $\frac{\omega}{a}$ pour laquelle la puissance absorbée s'annule; les fonctions se mesureraient alors sur des horizontales.

perles sont proportionnelles au couple et se mesureront par les mêmes distances à une autre échelle.

Pertes totales, p. — La puissance utile u étant égale à $\omega.c$, il vient

$$p = t - u = E^2 \frac{R_0 + aM \frac{\omega}{a} + R_r \frac{\omega^2}{a^2}}{d(4)} - \frac{\omega ME^2}{d(4)}$$

$$= \frac{E^2}{d(4)} \left(R_0 + R_r \frac{\omega^2}{a^2} \right).$$

La constante K_p pour $\gamma = 0$ vaut

$$K_p = \frac{I_0}{p_0} = \frac{|Z_0|}{ER_0},$$

et la caractéristique

$$p = I - K_p p = E \frac{Z_0 + aM \frac{\omega}{a} + Z_r \frac{\omega^2}{a^2}}{d(4)} - E \frac{|Z_0| \left(1 + \frac{R_r \omega^2}{R_0 a^2} \right)}{d(4)}$$

$$= \left[aM + \left(Z_r - |Z_0| \frac{R_r}{R_0} \right) \frac{\omega}{a} \right] \frac{\omega}{a} \cdot \frac{E}{d(4)}.$$

Nous pouvons donc choisir, pour son échelle rectiligne, une parallèle au diagramme d'impédance donné par la formule

$$aM + \left(Z_r - Z_0 \frac{R_r}{R_0} \right) \frac{\omega}{a} = aM - j \left(aL_r + X_0 \frac{R_r}{R_0} \right) \frac{\omega}{a}.$$

C'est une horizontale, par exemple, $W_0 V_1$ (fig. 15) (1).

Si le point V de cette échelle correspond au point I du diagramme, ses pertes p seront mesurées par IP , P étant le point de rencontre de OV avec la parallèle IT à I_0 .

On pourra tracer ainsi, si on le désire, la caractéristique P (fig. 15). Cette caractéristique est commode pour la détermination des valeurs de p , mais elle n'est pas nécessaire.

Puissance utile, u. — La puissance utile s'annulant en I_0 , on ne peut pas choisir $\gamma = 0$ pour sa caractéristique directe, car on trouverait $K = \infty$. Mais on peut la mesurer par différence entre la puissance absorbée t et les pertes p , c'est-à-dire par PT et ce, à la même échelle que la puissance absorbée IT et que les pertes IP (fig. 15).

Lorsque le point T sort des limites de l'épure, on pourra ramener P en P' sur la verticale IT' et mesurer u par $P'T'$ à la même échelle que la puissance absorbée IT' et les pertes IP' .

Effet Joule du court-circuit, r. — Le courant du court-circuit est donné par

$$J = \frac{E \left(-jaM + aL_r \frac{\omega}{a} \right)}{Z_r \left(Z_0 + aM \frac{\omega}{a} + Z_r \frac{\omega^2}{a^2} \right)}.$$

(1) Le point V_1 de l'horizontale $W_0 V$ se détermine simplement par sa rencontre avec la parallèle à Z_0 menée du point W_1 .

Les pertes par effet Joule correspondantes, à travers la résistance R_r , valent donc

$$r = R_r \cdot J^2 = \frac{E^2 R_r}{\alpha Z_r^2} \cdot \frac{a^2 M^2 + a^2 L_r^2 \frac{\omega^2}{a^2}}{d(4)}.$$

La constante K_r pour $\gamma = 0$ vaut

$$K_r = \frac{r_0}{r} = \frac{\alpha Z_r^2}{E R_r} \cdot \frac{Z^0}{a^2 M^2},$$

et la caractéristique

$$\begin{aligned} R = I - K_r &= \frac{E \left(Z_0 + a M \frac{\omega}{a} + Z_r \frac{\omega^2}{a^2} \right) - E Z_0 \left(1 + \frac{L_r^2 \omega^2}{M^2 a^2} \right)}{d(4)} \\ &= \left[a M + \left(Z_r - |Z_0| \frac{L_r^2}{M^2} \right) \frac{\omega}{a} \right] \frac{\omega}{a} \cdot \frac{E}{d(4)}. \end{aligned}$$

Nous pouvons donc choisir pour son échelle rectiligne toute parallèle au diagramme d'impédance donné par la formule

$$a M + \left(|Z_r| - Z_0 \frac{L_r^2}{M^2} \right) \frac{\omega}{a}.$$

Celle YY_1 représentée figure 15 passe par W_0 (pour $\omega = 0$), son point Y_1 (correspondant à $\omega = a$) se trouve sur la droite $W_1 V_1$, en un point tel que

$$\frac{W_1 Y_1}{W_1 V_1} = \frac{L_r^2}{M^2} \cdot \frac{R_0}{R_r}^{(1)}.$$

Le point Y de cette échelle correspondant au point I du diagramme, ses pertes r seront mesurées par IR , R étant le point de rencontre de OY avec la parallèle IT à I_0 .

Bien entendu, alors que les distances IP , IT et PT mesurent des fonctions différentes à une même échelle, les distances IC , IP et IR , mesurent des fonctions différentes à des échelles différentes. Ces échelles sont d'ailleurs caractérisées par le fait que, pour $\omega = 0$, ces fonctions sont toutes mesurées par la même longueur $I_0 O$.

On constate ainsi, en particulier figure 15, que, lorsque ω croît, les pertes totales croissent proportionnellement plus vite que le couple, mais moins vite que les pertes par effet Joule du court-circuit.

CONCLUSIONS. — Les diagrammes possèdent des propriétés géométriques propres indépendantes des machines auxquelles ils se rapportent.

Ces propriétés concernent leur forme (t. VII, p. 317), leur tracé (t. VII, p. 347), la variable (page 571), les fonctions de courants (page 603).

La connaissance de ces propriétés générales facilite

beaucoup l'étude des diagrammes des machines nouvelles, surtout des machines complexes.

Le simple examen des circuits de la machine permet de prédéterminer les principales propriétés de ses diagrammes (t. VII, p. 321) et, par suite, de se rendre compte de l'importance relative de leur étude.

En pratique, on n'aura guère à considérer que les diagrammes de courants circulaires et fermés du quatrième degré (page 565).

Les premiers seront déterminés facilement, dans toutes leurs parties, par la connaissance (calcul) de trois points quelconques (page 643), avec valeurs correspondantes de la variable et des fonctions de courants (page 644).

Les seconds seront déterminés, soit par la connaissance de cinq points ⁽¹⁾, avec valeurs correspondantes de la variable (note ⁽²⁾ page 644), et des fonctions de courants (page 644); soit par la connaissance (calcul) de leurs formules. Celles-ci permettent de ramener leur tracé à l'inverse d'une courbe du second degré (page 644) qui peut d'ailleurs servir de courbe-échelle intermédiaire (page 644). Leurs fonctions de courants pourront se mesurer, généralement, par la détermination d'une échelle rectiligne des caractéristiques (page 644).

E. APPENDICE

Cette partie concerne quelques questions accessoires relatives aux diagrammes en général.

Nous ne les traiterons d'ailleurs que succinctement.

I. Des paramètres. — PARAMÈTRES DU DIAGRAMME.

Les équations des machines que nous avons considérées dans cette étude sont des fonctions algébriques simples de la variable (t. VII, p. 316).

Nous avons vu que leurs diagrammes peuvent s'exprimer par des expressions de la forme

$$F = \frac{A_0 + A_1 w + \dots + A_m w^m}{B_0 + B_1 w + \dots + B_n w^n}. \quad (71)$$

Une telle formule contient un certain nombre de coefficients qui, généralement, ne sont pas complètement indépendants les uns des autres. Pour qu'ils le deviennent, il convient de la simplifier autant que possible, de façon à réduire le nombre de ces coefficients au minimum.

Les coefficients restants, indépendants les uns des autres sont appelés paramètres du diagramme.

Cette simplification est pratiquement plus ou moins complexe suivant les relations qui peuvent exister entre les coefficients, le nombre de ces coefficients qui sont déterminés et le nombre de racines des termes.

Nous ne considérerons ici que le cas général d'une formule (71), dont le numérateur et le dénominateur ont respectivement m' et n' racines réelles ou imagi-

⁽¹⁾ Dans le cas de la figure 15, $W_1 Y_1 / W_1 V_1 = 2,11$.

⁽²⁾ Voir Appendice.

naires, mais dont aucun des coefficients n'est nul ou déterminé.

Cette formule (71) pourra se ramener à la forme suivante ne contenant que des paramètres

$$F' = \frac{(c_0 + c_1 w + \dots + c_{m-1} w^{m-1} + w^m)(c'_0 + c'_1 w + \dots + c'_{n-m-1} w^{n-m-1} + w^{n-m})}{(d_0 + d_1 w + \dots + d_{n-1} w^{n-1} + w^n)(D_0 + D_1 w + \dots + D_{n-n} w^{n-n})}. \quad (72)$$

Elle comprend une partie algébrique et une partie imaginaire. Les $m' + n'$ coefficients algébriques sont des paramètres simples, tandis que les $m - m' + n - n' + 1$ coefficients imaginaires sont des paramètres doubles (comprenant deux composantes).

Le nombre total p de paramètres du diagramme F' est donc

$$p = m' + n' + 2(m - m' + n - n' + 1), \quad (73)$$

$$= 2(m + n + 1) - (m' + n').$$

Il en résulte que, pour que ce diagramme (71) soit complètement déterminé, il est nécessaire d'en connaître $2(m + n + 1) - (m' + n')$ éléments tels que points, tangentes et valeurs de la variable (dont au moins trois valeurs de la variable (p. 577).

Ce nombre de paramètres p (73) constitue un maximum pour des valeurs données de m, n, m', n' , puisqu'il se rapporte au cas le plus complexe possible de F' (72).

D'autre part, le degré de F' est donné par la plus grande des deux expressions : $2n - n'$ ou $n + m - m'$ (I. VII, p. 319).

Cela étant, on vérifie facilement que, pour une valeur donnée du degré de F' , le nombre de paramètres p sera maximum lorsque l'on aura les relations suivantes

$$m' = 0 \quad \text{et} \quad m = n = n',$$

c'est-à-dire, lorsque l'expression de F' est de la forme

$$F' = \frac{C_0 + C_1 w + \dots + C_n w^n}{d_0 + d_1 w + \dots + d_n w^n}, \quad (74)$$

dans laquelle le numérateur est sans racine et le dénominateur sans terme imaginaire.

En ce cas, le degré du diagramme est n et le nombre maximum de ses paramètres est

$$p = 3n + 2. \quad (75)$$

Ainsi, il vient en particulier pour les :

$$\begin{aligned} \text{droites} & \dots \dots \dots p = 5; \\ \text{diagrammes du 2° degré,} & \quad p = 8; \\ \text{diagrammes du 3° degré,} & \quad p = 11; \\ \text{diagrammes du 4° degré,} & \quad p = 14. \end{aligned}$$

Ces nombres p indiquent le nombre maximum d'éléments tels que : points, tangentes et valeurs de la variable, nécessaires pour déterminer complètement les diagrammes correspondants.

PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUES. — Les paramètres considérés ci-dessus déterminent F' en tant que diagramme,

c'est-à-dire en tant que courbe dont chaque point possède une valeur déterminée de la variable.

Mais, lorsque l'on considère seulement la forme de la courbe du diagramme, sans s'occuper des valeurs de la variable, le nombre de paramètres correspondants sera généralement plus faible que celui considéré ci-dessus.

Ce nombre de paramètres, appelés paramètres géométriques, indique le nombre d'éléments, tels que points et tangentes, qu'il est nécessaire de connaître pour pouvoir tracer la courbe du diagramme considéré.

La formule F' (71) d'un diagramme étant donnée, il sera toujours possible de modifier ses coefficients sans changer, ni la forme de la formule, ni celle de la courbe représentée; cela, en changeant simplement les valeurs de la variable.

Il existe donc des relations (liaisons) entre les coefficients de la formule; relations qui, généralement, diminueront le nombre des coefficients indépendants, c'est-à-dire le nombre des paramètres.

En particulier, dans le cas de la formule générale (74), dont les deux termes sont du même degré, on pourra réaliser une modification de ce genre, en y

remplaçant w par $\frac{\alpha_0 + \alpha_1 w}{\beta_0 + \beta_1 w}$. Nous obtiendrons ainsi une formule de F' en fonction de v , qui pourra être ramenée à la même forme (74), et qui représentera la même courbe, avec d'autres coefficients.

Les quatre lettres, $\alpha_0, \alpha_1, \beta_0, \beta_1$ de l'expression homogène de w , peuvent se ramener à trois lettres indépendantes. Ces trois lettres établissent des liaisons entre les coefficients de F' , qui diminuent le nombre de ses paramètres de trois unités.

Par suite, le nombre maximum q de paramètres géométriques des diagrammes de degré n (74) est donc

$$q = p - 3 = 3n - 1. \quad (76)$$

D'autre part, on sait que le nombre maximum q' de paramètres d'une courbe géométrique quelconque, exprimée en coordonnées cartésiennes, par une équation de degré n , est donné par la formule

$$q' = \frac{n(n+3)}{2}.$$

En particulier les valeurs maxima de paramètres q et q' seront donc pour les :

$$\begin{aligned} \text{droites} & \dots \dots \dots q = 2, q' = 2; \\ \text{diagrammes du 2° degré,} & \quad q = 5, q' = 5; \\ \text{diagrammes du 3° degré,} & \quad q = 8, q' = 9; \\ \text{diagrammes du 4° degré,} & \quad q = 11, q' = 14. \end{aligned}$$

Ce tableau montre que, à partir du troisième degré, on a $q' > q$, c'est-à-dire que le nombre de paramètres des courbes géométriques est plus grand que celui des diagrammes. En d'autres termes, à partir du troisième degré, il existe des courbes géométriques qui ne peuvent pas être des diagrammes (définis p. 656), c'est-à-dire que les diagrammes sont des courbes particulières.

En pratique, le nombre de courbes pouvant être des diagrammes est encore diminué par le fait que, généralement les racines éventuelles des termes de $F(72)$ sont toutes réelles. En particulier, l'ellipse n'est guère à considérer comme diagramme pratique, alors que, pourtant, elle peut s'exprimer par une fonction de la forme (71).

DIAGRAMMES FERMÉS. — La formule générale des diagrammes fermés est de la forme

$$F = \frac{A_0 + A_1 w + \dots + A_m w^m}{B_0 + B_1 w + \dots + B_n w^n} \quad (77)$$

Son degré est $2m = n$.

Considérons le cas le plus général pour lequel aucun des coefficients de (77) n'est déterminé et pour lequel les deux termes sont sans racine.

Dans ces conditions, la formule (77) étant homogène, on pourra diviser ses deux termes par l'un quelconque des coefficients imaginaires; il en résulte que le nombre de ses coefficients indépendants est $2m + 1$. Comme ce sont des paramètres doubles, le nombre total de paramètres p sera donc

$$p = 2(2m + 1) = 2(n + 1).$$

C'est le nombre maximum de paramètres d'un diagramme fermé de degré n .

D'ailleurs, en opérant comme nous l'avons fait ci-dessus pour la formule (74), on trouvera pour le nombre maximum de paramètres géométriques d'un diagramme fermé de degré n

$$q = p - 3 = 2n - 1.$$

En particulier, il vient pour les

diagrammes fermés du 4^e degré, $p = 10$, $q = 7$ (1);
diagrammes circulaires, $p = 6$, $q = 3$;

FONCTIONS DE COURANTS. — La formule générale des fonctions de courants relative au diagramme fermé (77) est de la forme (p. 604),

$$f = \frac{f(2m)}{h(2m)}.$$

Son dénominateur est le module de celui de (77); il ne contient donc que des coefficients connus, mais son

(1) Nous avons déjà vu précédemment (note 1, p. 569) que les diagrammes fermés du quatrième degré ont, au maximum, sept paramètres géométriques.

numérateur est une fonction algébrique contenant au maximum $2m + 1$ coefficients. Pour déterminer la fonction f , il suffit donc de connaître sa valeur pour

$$2m + 1 = n + 1 = \frac{p}{2}$$

points du diagramme.

Soit de trois points pour les diagrammes circulaires et de cinq points (p. 609) pour les diagrammes fermés du quatrième degré.

II. Du tracé. — Le tracé que nous avons en vue ici est celui des diagrammes et des caractéristiques dont on connaît un certain nombre d'éléments tels que points, tangentes, valeurs de la variable.

La question se pose, en particulier, lorsque ces éléments sont déterminés par des essais de la machine.

Du type de la machine résulte les formes de ses expressions (t. VII, p. 322 et p. 644).

Ces formes étant connues, on pourra en déduire le nombre de paramètres, c'est-à-dire d'éléments nécessaires au tracé des courbes correspondantes.

Ces éléments étant connus, il permettront, dans tous les cas, d'écrire le même nombre d'équations entre les coefficients des formules correspondantes. La résolution de ces équations déterminera donc ces formules dont on pourra tracer alors les diagrammes et caractéristiques.

Seulement, lorsque la chose n'est pas trop compliquée, il sera souvent intéressant de pouvoir tracer des courbes par un procédé graphique direct, sans avoir à calculer les formules correspondantes. Ces procédés varient essentiellement d'après les conditions du problème.

Ci-après, nous en donnons succinctement quelques exemples relatifs au tracé de diagrammes généraux.

DIAGRAMMES SANS RACINES. — Nous désignons sous cette expression les diagrammes représentés par des formules dont les termes sont sans racines.

Leur forme générale est :

$$F = \frac{A_0 + A_1 w + \dots + A_m w^m}{B_0 + B_1 w + \dots + B_n w^n} \quad (78)$$

Dans ce cas, la formule (73) donne

$$p = 2(m + n + 1).$$

Remarquons que p est toujours pair. Il en résulte, en particulier, que tout diagramme sans racine sera complètement déterminé si l'on en connaît $m + n + 1$ points avec les valeurs correspondantes de la variable (1).

Voici un tracé direct général applicable dans ce cas, quel que soit le degré du diagramme considéré. Il est basé sur les deux règles suivantes.

a) Lorsque $m > n$, on rapporte F à l'une des $m + n + 1$,

(1) C'est sous cette forme que se présentent les résultats des essais des machines.

points connus, soit celui correspondant à $w = \alpha$; on le joint à tous les autres et on divise chacun de ces vecteurs par $w - \alpha$; on détermine ainsi $m + n$ points G , d'une courbe plus simple.

b) Lorsque $m < n$, on détermine les inverses par rapport à l'origine des points de F connus; ces points inverses seront ceux d'un diagramme répondant au cas précédent a).

Par la combinaison d'un nombre convenable d'opérations a) et b), on pourra ramener finalement le diagramme considéré à une droite (parfois, en passant par une circonférence). Cette droite étant déterminée, elle permettra, inversement, de trouver autant de points que l'on voudra du diagramme cherché.

A titre d'exemple, considérons (fig. 18), le cas d'un diagramme fermé du quatrième degré, dont on donne

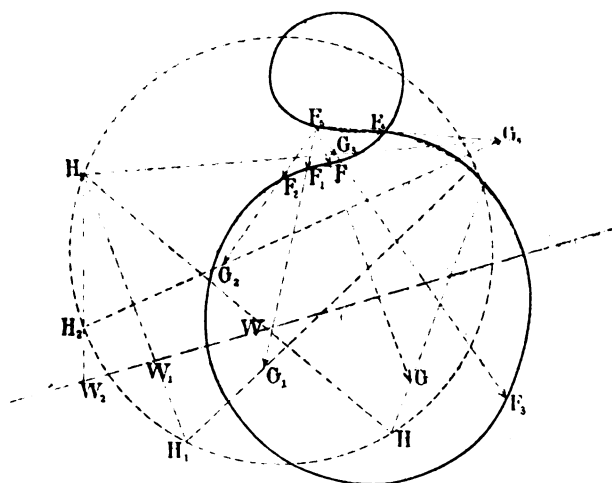


Fig. 18. — Diagramme fermé du quatrième degré. Tracé par cinq points avec valeurs de la variable.

cinq points : F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 correspondant aux valeurs w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 de la variable.

Sa formule est de la forme

$$F = \frac{A_0 + A_1 w + A_2 w^2}{B_0 + B_1 w + B_2 w^2}.$$

Rapportons-le au point F_5 ; la formule des vecteurs correspondants sera de la forme

$$F_5 F = \frac{(w - w_5)(C_0 + C_1 w)}{B_0 + B_1 w + B_2 w^2}.$$

Déterminons les inverses G_1, G_2, G_3, G_4 , des points F_1, F_2, F_3, F_4 par rapport à F_5 . La formule des vecteurs correspondants sera de la forme

$$F_5 G = \frac{B_0 + B_1 w + B_2 w^2}{(w - w_5)(C_0 + C_1 w)}.$$

Rapportons ces points à G_5 ; les vecteurs correspondants seront donnés par une formule de la forme

$$G_5 G = \frac{(w - w_5)(D_0 + D_1 w)}{(w - w_5)(C_0 + C_1 w)}.$$

Divisons chacun de ces vecteurs par $(w - w_5)/(w - w_5)$, c'est-à-dire respectivement par $G_5 G_1, G_5 G_2, G_5 G_3, G_5 G_4$, par

$$\frac{w_1 - w_5}{w_1 - w_5}; \quad \frac{w_2 - w_5}{w_2 - w_5}; \quad \frac{w_3 - w_5}{w_3 - w_5}.$$

On détermine ainsi les trois points H_1, H_2 et H_3 du diagramme circulaire.

$$G_5 H = \frac{D_0 + D_1 w}{C_0 + C_1 w}.$$

On trace cette circonférence et on détermine une de ses droites-échelles, soit par le procédé général de la p. 57, soit par la continuation de la méthode ci-dessus.

En effet, par rapport au point H_3 , on peut écrire

$$H_3 H = \frac{w - w_3}{C_0 + C_1 w};$$

d'où

$$C_0 + C_1 w = \frac{w - w_3}{H_3 H}.$$

C'est-à-dire que la droite-échelle $C_0 + C_1 w$ sera déterminée par les deux points W_1 et W_2 (fig. 18), des vecteurs $H_3 H_1$ et $H_3 H_2$, respectivement aux distances $H_3 W_1 = (w_1 - w_3) H_3 H_1$ et $H_3 W_2 = (w_2 - w_3) H_3 H_2$.

Cela étant, on pourra déterminer n'importe quel point de F correspondant à une valeur w quelconque de la variable, par une construction inverse.

En effet, soit W le point correspondant de la droite-échelle. On trace $H_3 W$ qui coupe la circonférence en H . On joint $G_5 H$ et on y détermine le point G donné par

$$G_5 G = G_5 H \cdot \frac{w - w_3}{w - w_5}.$$

On joint $F_5 G$ et on y détermine le point inverse F donné par

$$F_5 F = \frac{1}{F_5 G}.$$

On pourra tracer ainsi la courbe F par points successifs (fig. 18).

DIAGRAMMES AVEC RACINES. — La formule générale de ces diagrammes est de la forme (72).

En pratique les racines des termes de cette formule sont généralement connues; en la divisant par l'expression algébrique de ces racines, il ne restera que les termes imaginaires et l'on sera ramené au cas des diagrammes sans racines.

Lorsque les racines de (72) ne sont pas connues, le tracé direct est moins commode. Aussi nous ne considérerons que les cas simples suivants :

droite

$$\frac{A_0 + A_1 w}{w - \alpha}; \quad (79)$$

parabole

$$\frac{A_0 + A_1 w + A_2 w^2}{(w - \alpha)^2}; \quad (80)$$

hyperbole

$$\frac{A_0 + A_1 w + A_2 w^2}{(w - \alpha)(w - \beta)}. \quad (81)$$

Pour la droite (79), on a $p = 5$. Elle sera déterminée, par exemple, par deux points et trois valeurs de la variable (l'une de ces valeurs se trouvant, par exemple, sur une autre droite donnée, etc...). Ce cas ne présente pas de difficulté.

Pour la parabole (80), on a $p = 7$. Elle sera déterminée, par exemple, par quatre points dont trois avec valeur correspondante de la variable. On joindra ces trois points au quatrième. Ces trois droites rayonnantes permettent de tracer la droite-échelle correspondante. Les points d'intersection qu'elle détermine sur les droites rayonnantes permettent de calculer la racine α de la formule (80); ce qui nous ramène au cas précédent.

Pour l'hyperbole (81), on a $p = 8$. Elle sera déterminée, par exemple, par quatre points avec valeurs correspondantes de la variable. On opérera comme pour la parabole ci-dessus. Du fait que l'on connaît un élément de plus (valeur de la variable du quatrième

point), il résulte que l'on pourra déterminer également la seconde racine β de (81). Les deux racines α et β étant connues, on sera ramené également au cas précédent.

III. Conclusions. — Tout diagramme peut être considéré, soit simplement au point de vue de sa forme géométrique, soit comme diagramme, c'est-à-dire comme courbe dont chaque point possède une valeur déterminée de la variable (p. 653).

Dans le premier cas, sa courbe sera déterminée par un certain nombre d'éléments, tels que points et tangentes, et sa formule par un certain nombre de paramètres géométriques (p. 653).

Dans le second cas, le diagramme sera déterminé par un certain nombre d'éléments, tels que points, tangentes et valeurs de la variable, au minimum trois de ces dernières (p. 653), et sa formule, par un certain nombre de paramètres du diagramme (p. 652).

La comparaison des nombres maxima de paramètres géométriques des diagrammes, et de ceux des courbes géométriques cartésiennes, montre que, à partir du troisième degré, les diagrammes sont des courbes spéciales (p. 654).

Étant donné un nombre suffisant d'éléments du diagramme considéré, il sera toujours possible de calculer les coefficients de sa formule et, par suite, de le tracer par l'application des règles données au cours de cette étude (p. 654), mais, dans certains cas, en particulier pour les diagrammes sans racine, on pourra également le tracer par un procédé direct sans avoir à calculer sa formule (p. 655).

LÉON OTS CHEVALIER.

Quelques théorèmes sur les oscillations propres des systèmes de circuits

L'auteur examine quelques-unes des propriétés fondamentales des systèmes de circuits. Après avoir donné les expressions des différentes formes d'énergie dans un réseau électrique et écrit les équations différentielles des courants, il démontre successivement qu'il ne peut exister que des courants apériodiques ou périodiques amortis; que ces oscillations sont en nombre égal au nombre des circuits; qu'en l'absence de capacité ou de self-induction, tous les termes sont apériodiques; qu'en l'absence de résistance ils sont tous périodiques, sans amortissement. Il n'est pas inutile de remonter quelquefois ainsi à la source des notions qui nous sont le plus familières.

Introduction. — L'étude des oscillations propres des systèmes des circuits, si importantes puisqu'elles comprennent les phénomènes qui accompagnent l'ouverture ou la fermeture des interrupteurs ainsi que toutes les variations brusques d'intensité ou de différence de potentiel dans les réseaux, puisqu'elles sont la base de la télégraphie sans fil à étincelles musicales, reposent sur quelques propositions très générales, universellement admises sans démonstration, même dans les ouvrages didactiques ou les cours des universités et des écoles supérieures, comme des vérités qui s'imposent d'elles-mêmes.

Le fait que le courant est, en général, une combinaison de courants apériodiques et de courants périodiques amortis; qu'il n'y a que des courants apériodiques si le système ne contient que des self-inductances et des résistances; qu'il n'y a que des courants purement périodiques si le système ne contient que des self-inductances et des capacités; que la présence de résistances est incompatible avec l'existence d'oscillations propres non amorties; telles sont les principales propositions dont la démonstration sera l'objet de cette étude. Il me paraît d'autant plus intéressant de rechercher l'origine de ces faits qu'ils sont le plus

souvent considérés comme évidents. J'écrirai d'abord, d'après Maxwell, les équations différentielles d'un système de circuits.

I. Expressions des différentes formes d'énergie.

— ENERGIE CINÉTIQUE. — Soit L_{pq} le coefficient d'induction mutuelle des circuits p et q . L'énergie emmagasinée sous forme cinétique par suite de cette induction mutuelle a pour expression

$$L_{pq}i_p i_q.$$

L'énergie emmagasinée par suite de la self-inductance du circuit p a pour expression, si L_{pp} est la self-inductance de ce circuit

$$\frac{1}{2} L_{pp} i_p^2.$$

L'énergie cinétique totale du système s'écrira

$$(1) \quad T = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^{p=n} L_{pp} i_p^2 + \frac{1}{2} \sum_{p=1, q=1}^{p=n, q=n} L_{pq} i_p i_q,$$

la somme $\sum_{p=1, q=1}^{p=n, q=n}$ s'étendant aux $\frac{n(n-1)}{2}$ combinaisons des indices 1, 2, ..., n , deux à deux.

L'énergie cinétique T est évidemment positive, puisqu'elle est égale à l'énergie emmagasinée dans le milieu sous forme magnétique, qui a pour expression

$$\frac{1}{8\pi} \int \mu (\mathfrak{M}_x^2 + \mathfrak{M}_y^2 + \mathfrak{M}_z^2) d\tau,$$

l'intégrale s'étendant à l'ensemble du champ, $\mathfrak{M}_x, \mathfrak{M}_y, \mathfrak{M}_z$ représentant la force magnétique en un point P du champ, $d\tau$ étant l'élément de volume et μ , la perméabilité magnétique au point P.

Les coefficients d'induction mutuelle et de self-induction sont indépendants des intensités, puisque les circuits ne contiennent pas de fer; ils sont indépendants du temps puisque les circuits sont fixes. Ils sont donc constants.

ENERGIE POTENTIELLE. — L'énergie emmagasinée dans un condensateur a pour expression

$$\frac{1}{2C} q^2 = \frac{1}{2C} \left(\int i dt \right)^2,$$

q étant la charge du condensateur et C sa capacité.

Soit C_{pp} la capacité résultante des condensateurs insérés dans le circuit p . Ces condensateurs étant parcourus par le courant i_p , contiennent l'énergie

$$\frac{1}{2C_{pp}} \left(\int i_p dt \right)^2.$$

Mais un condensateur peut être commun à plusieurs

circuits. Soit C_{pq} la capacité résultante commune aux circuits p et q . Le terme correspondant de l'énergie potentielle sera

$$\frac{1}{C_{pq}} \times \int i_p dt \times \int i_q dt.$$

L'énergie potentielle totale du système s'écrira

$$(2) \quad U = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^{p=n} \frac{1}{C_{pp}} \left(\int i_p dt \right)^2 + \sum_{p=1, q=1}^{p=n, q=n} \frac{1}{C_{pq}} \times \int i_p dt \times \int i_q dt,$$

la somme $\sum_{p=1, q=1}^{p=n, q=n}$ s'étendant aux $\frac{n(n-1)}{2}$ combinaisons des indices 1, 2, ..., n , deux à deux.

L'énergie potentielle U est, comme l'énergie cinétique T , positive puisqu'elle est égale à l'énergie emmagasinée dans le milieu sous forme électrique, qui a pour expression

$$\frac{1}{8\pi} \int \epsilon (\mathcal{E}_x^2 + \mathcal{E}_y^2 + \mathcal{E}_z^2) d\tau,$$

l'intégrale s'étendant à l'ensemble du champ, $\mathcal{E}_x, \mathcal{E}_y, \mathcal{E}_z$ représentant la force électrique et ϵ , la constante diélectrique du milieu.

ENERGIE DISSIPÉE PAR LES RÉSISTANCES. — Si R est la résistance d'un conducteur, la puissance dissipée est $R i^2 dt$.

Soit R_{pp} la résistance totale du circuit p , R_{pq} la portion de cette résistance commune aux circuits p et q . La puissance totale dissipée est

$$(3) \quad 2S = \sum_{p=1}^{p=n} R_{pp} i_p^2 + 2 \sum_{p=1, q=1}^{p=n, q=n} R_{pq} i_p i_q,$$

la somme $\sum_{p=1, q=1}^{p=n, q=n}$ s'étendant aux $\frac{n(n-1)}{2}$ combinaisons des indices 1, 2, ..., n , deux à deux.

ENERGIE FOURNIE PAR LES GÉNÉRATEURS OU ABSORBÉE PAR LES RÉCEPTEURS. — Nous supposons que certaines des branches du réseau contiennent soit des générateurs susceptibles de fournir de l'énergie, soit des récepteurs capables d'en absorber. Soit \mathcal{E}_p la force électromotrice, positive ou négative, appliquée au circuit p . La puissance totale fournie au système a pour expression

$$(4) \quad W = \sum_{p=1}^{p=n} \mathcal{E}_p i_p.$$

II. Equations différentielles des courants. — Maxwell a démontré que le fonctionnement du réseau

est défini par un ensemble de n équations différentielles, formées comme les équations introduites en mécanique par Lagrange et telles que

$$(2-1) \quad \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial T}{\partial i_p} + \frac{\partial U}{\partial i_p} + \frac{\partial S}{\partial i_p} = \mathcal{E}_p.$$

En raison de la forme des fonctions T , U et S qui sont des fonctions quadratiques des $\frac{di}{dt}$ et des $\int i dt$, on a

$$(2-2) \quad \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial T}{\partial i_p} = \sum_{q=1}^{q=n} L_{pq} \frac{di_q}{dt},$$

$$(2-3) \quad \frac{\partial U}{\partial i_p} = \sum_{q=1}^{q=n} \frac{1}{C_{pq}} \int i_q dt.$$

On a d'ailleurs

$$(2-4) \quad \frac{\partial S}{\partial i_p} = \sum_{q=1}^{q=n} R_{pq} i_q,$$

et l'équation différentielle relative au circuit p s'écrit

$$(2-5) \quad \sum_{q=1}^{q=n} \left(L_{pq} \frac{di_q}{dt} + R_{pq} i_q + \frac{1}{C_{pq}} \int i_q dt \right) = \mathcal{E}_p.$$

Dérivons, par rapport à t , pour éliminer les intégrales : l'équation (2-5) se transforme en la suivante

$$(2-6) \quad \sum_{q=1}^{q=n} \left(L_{pq} \frac{d^2 i_q}{dt^2} + R_{pq} \frac{di_q}{dt} + \frac{1}{C_{pq}} i_q \right) = \frac{d\mathcal{E}_p}{dt}.$$

Le fonctionnement du réseau est représenté par le système de n équations différentielles linéaires, à coefficients constants, obtenues en donnant successivement, dans les équations précédentes, à l'indice p les valeurs $1, 2, \dots, n$.

On sait que la solution générale d'un tel système s'obtient en ajoutant à la solution générale du système sans second membre une solution particulière du système à second membre.

III. Etude du système sans second membre. Oscillations propres des réseaux. — L'équation (2-6) privée de second membre devient

$$(3-1) \quad \sum_{q=1}^{q=n} \left(L_{pq} \frac{d^2 i_q}{dt^2} + R_{pq} \frac{di_q}{dt} + \frac{1}{C_{pq}} i_q \right) = 0.$$

Nous avons d'abord à chercher la solution du système de n équations obtenu en donnant successivement à p les valeurs $1, 2, 3, \dots, n$.

Posons symboliquement

$$(3-2) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} = \theta, \\ L_{pq} \theta^2 + R_{pq} \theta + \frac{1}{C_{pq}} = A_{pq}(\theta). \end{array} \right.$$

On sait que la solution générale d'un tel système d'équations linéaires à coefficients constants est de la forme

$$(3-3) \quad i_{qk} = \sum_{k=1}^{k=m} R_{qk} e^{\theta_k t},$$

où $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k, \dots, \theta_m$ sont les m racines de l'équation

$$(3-4) \quad \Delta(\theta) = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1q} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2q} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{p1} & A_{p2} & \dots & A_{pq} & \dots & A_{pn} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nq} & \dots & A_{nn} \end{vmatrix} = 0.$$

Les A étant en général des polynômes du deuxième degré en θ , le déterminant est de degré $2n$ et l'équation

$$\Delta = 0,$$

a un nombre de racines égal à $2n$. On a, par conséquent, dans le cas général

$$(3-5) \quad m = 2n.$$

Chacun des circuits est parcouru par un courant qui est la superposition de $2n$ courants élémentaires.

Ces $2n$ racines peuvent être soit des racines réelles, soit des racines imaginaires groupées deux par deux.

A chaque racine réelle correspondra un terme exponentiel de la forme

$$A e^{\theta_r t},$$

A chaque couple de racines imaginaires conjuguées correspond un terme de la forme

$$B e^{z t} + C e^{m t},$$

qui, si l'on pose

$$\theta_l = z_l + j \omega_l,$$

$$\theta_m = z_l - j \omega_l,$$

devient

$$D e^{z_l t} \sin(\omega_l t + z).$$

C'est un terme sinusoïdal à coefficient exponentiel.

Si toutes les racines sont imaginaires, chacun des circuits est parcouru par une somme de n courants

périodiques amortis, de périodes et d'amortissements en général différents.

S'il n'y a, dans un des circuits élémentaires, par exemple le $p^{\text{ième}}$, ni self-induction, ni induction mutuelle

$$L_{pq} = 0,$$

La ligne correspondante du déterminant Δ est du premier degré en θ , et le degré de ce déterminant, considéré comme équation en θ , s'abaisse d'une unité.

S'il n'y a pas de capacité dans l'un des circuits élémentaires, par exemple le $p^{\text{ième}}$, tous les C_{pq} deviennent infinis et l'une des racines du déterminant devient nulle.

IV. Théorèmes généraux sur les oscillations propres des réseaux. — **THÉORÈME I.** — Il est facile de voir que, tant que tous les R ne sont pas nuls, les racines $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$ ne peuvent être que réelles et négatives, ou imaginaires, à partie réelle négative.

En effet, le groupe d'équations (3-1) représente le fonctionnement du réseau sans force électromotrice appliquée. L'énergie dépensée pendant le fonctionnement ne peut être empruntée à une source extérieure; elle ne peut provenir que de l'énergie accumulée dans le champ électrique et le champ magnétique à l'origine des temps ($t = 0$); elle est donc finie, même si l'on considère toute la durée qui s'étend de $t = 0$ à $t = \infty$.

Supposons maintenant que l'équation $\Delta = 0$ contienne une racine réelle positive, à laquelle nous pouvons affecter l'indice 1. Le courant i_q est de la forme

$$i_q = B_{q1} e^{\theta_1 t} + \sum_{k=2}^{k=m} B_{qk} e^{\theta_k t};$$

θ_1 étant positif, l'intensité i_q augmente indéfiniment quand t augmente indéfiniment. Il en est de même de l'énergie $R i_q^2$ dépensée pendant l'unité de temps et, a fortiori, de l'énergie totale :

$$\int_0^\infty R i_q^2 dt,$$

dépensée dans le circuit q .

Mais nous venons de voir qu'il est impossible que cette énergie augmente indéfiniment.

L'hypothèse d'une racine imaginaire à partie réelle positive conduirait, par le même raisonnement, à la même impossibilité.

Toutes les racines de l'équation

$$\Delta = 0,$$

sont donc, soit réelles et négatives, soit imaginaires avec parties réelles négatives.

Une racine réelle négative

$$\theta_k = -\alpha_k,$$

conduit dans l'expression du courant i_q à un terme de la forme

$$B_{qk} e^{-\alpha_k t},$$

c'est-à-dire à un terme exponentiel décroissant et tendant vers zéro quand t augmente indéfiniment.

Une racine imaginaire, à partie réelle négative

$$\theta_l = -\alpha_l + j\omega_l,$$

donne, associée à la racine imaginaire conjuguée

$$\theta_l = -\alpha_l - j\omega_l,$$

un terme de la forme

$$B_{ql} e^{(-\alpha_l + j\omega_l)t} + B_{ql'} e^{(-\alpha_l - j\omega_l)t},$$

B_{ql} et $B_{ql'}$ étant deux coefficients imaginaires conjugués... Soit

$$B_{ql} = D_{ql} + jF_{ql},$$

$$B_{ql'} = D_{ql} - jF_{ql},$$

le terme précédent devient

$$(D_{ql} + jF_{ql}) e^{(-\alpha_l + j\omega_l)t} + (D_{ql} - jF_{ql}) e^{(-\alpha_l - j\omega_l)t},$$

et en tenant compte de

$$e^{j\omega_l t} = \cos \omega_l t + j \sin \omega_l t,$$

$$e^{-j\omega_l t} = \cos \omega_l t - j \sin \omega_l t,$$

il devient

$$\begin{aligned} & 2e^{-\alpha_l t} [D_{ql} \cos \omega_l t - F_{ql} \sin \omega_l t] \\ &= 2\sqrt{D_{ql}^2 + F_{ql}^2} \cos(\omega_l t + \psi) e^{-\alpha_l t} \\ (4-1) \quad &= M_{ql} \cos(\omega_l t + \psi_{ql}) e^{-\alpha_l t}, \end{aligned}$$

en posant

$$M_{ql} = \frac{1}{2} \sqrt{D_{ql}^2 + F_{ql}^2},$$

$$\tan \psi_{ql} = \frac{F_{ql}}{D_{ql}}.$$

Un terme de la forme (4-1) représente une oscillation de période

$$T = \frac{2\pi}{\omega_l},$$

dont l'amplitude décroît avec le temps, proportionnellement à $e^{-\alpha_l t}$.

Les expressions des courants i_1, i_2, \dots, i_n , sont donc des sommes de termes de deux sortes :

Des termes exponentiels à exposants négatifs;

Des oscillations amorties.

Les deux sortes de termes s'annulent quand le temps augmente indéfiniment : ils représentent des phénomènes transitoires, négligeables quand le temps augmente au delà d'une certaine valeur.

THÉORÈME 2. — *S'il n'y a pas de capacités dans le système,*

$$C_{pq} = \infty,$$

et l'équation (3-1), privée de second membre, devient :

$$\sum_{q=1}^{q=n} \left(L_{pq} \frac{di_q}{dt} + R_{pq} i_q \right) = 0.$$

Le déterminant Δ devient

$$\Delta(\theta) = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{vmatrix},$$

avec

$$A_{pq} = L_{pq}\theta + R_{pq}.$$

Ce déterminant ne peut avoir que des racines réelles. Supposons, en effet, qu'il ait une racine imaginaire.

$$\theta_k = \alpha + j\omega.$$

Le déterminant Δ étant à coefficients réels, à la racine θ_k correspondra la racine imaginaire conjuguée

$$\theta'_k = \alpha - j\omega.$$

Si maintenant nous supposons que nous séparions et éloignons l'un de l'autre les différents circuits, de telle façon qu'ils deviennent complètement indépendants, α tendra vers une limite β , ω tendra vers une limite ∞ , et il y aura des couples de racines imaginaires conjuguées tels que

$$\beta + j\infty, \quad \beta - j\infty.$$

Mais, si les circuits deviennent indépendants les uns des autres, tous les coefficients tels que L_{pq} , R_{pq} , où p est différent de q , s'annulent, le déterminant Δ devient

$$\Delta(\theta) = A_{11} \times A_{22} \times \dots \times A_{nn},$$

et les racines sont

$$\theta_1 = -\frac{R_{11}}{L_{11}}, \quad \theta_2 = -\frac{R_{22}}{L_{22}}, \quad \dots \quad \theta_n = -\frac{R_{nn}}{L_{nn}}.$$

Elles sont toutes différentes dans le cas général où les circuits ont des caractéristiques différentes et il est évidemment impossible de trouver parmi elles des couples tels que celui auquel conduit l'hypothèse d'une racine imaginaire.

Il en résulte que toutes les racines du déterminant Δ sont réelles. On déduit du théorème 1 qu'elles sont négatives.

La démonstration, valable jusqu'ici seulement si tous les rapports tels que $\frac{R_{pp}}{L_{pp}}$ sont différents les uns des

autres, peut être facilement étendue au cas où il n'en serait pas ainsi. Supposons, par exemple, qu'on ait

$$\frac{R_{mm}}{L_{mm}} = \frac{R_{nn}}{L_{nn}}.$$

Le circuit m peut être considéré comme obtenu par la déformation continue d'un circuit dont le $\frac{R}{L}$ soit différent de $\frac{R}{L_{nn}}$. Pendant tout le cours de la déformation,

toutes les racines du déterminant Δ sont donc réelles et négatives; il ne peut en être autrement à la limite.

D'où cette conclusion que, *dans un système de circuits qui ne contient pas de condensateur, il n'y a aucun courant périodique amorti: tous les courants élémentaires sont apériodiques.*

THÉORÈME 3. — On démontre de même qu'en l'absence de self-induction tous les courants sont apériodiques.

THÉORÈME 4. — *S'il n'y a pas de résistances dans système,*

$$R_{pq} = 0,$$

et l'équation (3-2), privée de second membre, devient

$$\sum_{q=1}^{q=n} \left(L_{pq} \frac{d^2 i_q}{dt^2} + \frac{1}{C_{pq}} i_q \right) = 0.$$

Un coefficient quelconque du déterminant Δ devient

$$A_{pq} = L_{pq}\theta^2 + \frac{1}{C_{pq}}.$$

Posons

$$\theta^2 = \alpha,$$

$$\frac{1}{C_{pq}} = r_{pq}.$$

Le coefficient A_{pq} s'écrit

$$A_{pq} = L_{pq}\alpha + r_{pq},$$

et l'on voit que, dans ce cas, le coefficient A_{pq} est le même que celui qu'on obtiendrait dans le cas d'un système de circuits sans capacité, avec des coefficients d'induction L_{pq} et des résistances r_{pq} . Les relations mutuelles entre les $r_{pq} = \frac{1}{C_{pq}}$ étant d'ailleurs les mêmes que celles qui existent entre les résistances d'un système de circuits, la seule condition étant que

$$\sum_{q=1}^{q=n} \frac{1}{C_{pq}} < 2 \times \frac{1}{C_{pp}},$$

de même que la seule condition pour les R est

$$\sum_{q=1}^{q=n} R_{pq} < 2 R_{pp}.$$

l'assimilation est complètement plausible, et l'on en déduit que les diverses racines $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_i$ du déterminant Δ ne peuvent être que réelles et négatives. Donc $\theta_1^2, \theta_2^2 \dots \theta_m^2$ ne peuvent être que réels et négatifs, et, par conséquent, $\theta_1, \theta_2 \dots \theta_m$ sont purement imaginaires.

A une racine imaginaire pure $j\omega$ correspondra la racine imaginaire conjuguée $-j\omega$; de sorte que nous aurons en somme n couples de racines imaginaires conjuguées. Chacun d'eux donnera un terme de la forme

$$(A + Bj) e^{j\omega t} + (A - Bj) e^{-j\omega t} \\ = C \cos(\omega t + \varphi),$$

C et φ étant deux constantes d'intégration. De sorte que *chacun des circuits est parcouru par n oscillations*

périodiques non amorties, de périodes en général différentes.

THÉORÈME 5. — *La présence de résistances dans le réseau est incompatible avec l'existence d'oscillations propres non amorties.*

Supposons, en effet, qu'il existe des oscillations non amorties dans l'une quelconque des parties du réseau. Ces oscillations joueraient le rôle de forces électromotrices périodiques et produiraient des courants périodiques dans les différents circuits. Il y aurait, par suite, dans les circuits non dénués de résistance, consommation continue d'énergie, alors qu'il s'agit d'oscillations propres, auxquelles aucune énergie n'est fournie. Ceci est évidemment impossible.

LÉON BOUTHILLON,
Ingénieur en chef des Télégraphes.

Revue, analyses et informations

Caractéristiques de transmission des câbles sous-marins ⁽¹⁾.

Les caractéristiques d'un système conducteur, tel qu'un câble sous-marin, sont la constante de propagation Γ et l'impédance caractéristique K , reliées à la pulsation P et aux paramètres de ligne (définis par unité de longueur, résistance R , inductance L , conductance de fuite G et capacité C) par les formules

$$\Gamma = \sqrt{(R + jPL)(G + jPC)}, \\ K = \sqrt{\frac{R + jPL}{G + jPC}}.$$

Ces constantes étant connues, la propagation de l'électricité dans le système est immédiate. La difficulté consiste à déterminer les valeurs exactes de l'impédance : or, d'une part, le retour par la mer s'effectue dans la région à proximité immédiate du câble, d'autre part, l'armure de fer elle-même forme en quelque sorte écran vis-à-vis de l'eau salée. L'objet de l'article actuel est de calculer l'influence de ces phénomènes et de montrer que leur effet peut être corrigé par une couche cylindrique conductrice, très mince, en contact électrique avec les fils de l'armure.

I. CAS DE n CONDUCTEURS EN CONTACT. — Supposons d'abord un système comprenant n conducteurs cylindriques de même axe ⁽²⁾. Écrivons que les composantes des champs électriques e et magnétique h à la surface de séparation des conducteurs sont égales. On établit aisément que la composante radiale de e est négligeable vis-à-vis de la composante parallèle à l'axe et que, si cette dernière est de la forme

$$E \exp[-\Gamma z + jPt],$$

E est une solution de l'équation

$$\frac{\partial^2 E}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E}{\partial r} + (\Gamma^2 - 4\pi\lambda\mu jP) E = 0. \quad (1)$$

D'où, pour le $q^{\text{ième}}$ conducteur,

$$E_q = A_q J_0(\rho_q) + B_q K_0(\tau_q), \quad (2)$$

A_q et B_q étant deux constantes arbitraires, J_0 et K_0 des fonctions de Bessel d'ordre zéro et $\rho = r j \sqrt{\pi} \lambda \mu q P$, $\tau = r \alpha_q$ (car, en général, Γ est négligeable vis-à-vis du radical).

D'autre part, la relation de Lagrange

$$\mu \frac{dH}{dt} = \frac{dE}{dr}$$

donne

$$H_q = \frac{a_q}{\mu j P} [A_q J'_0(\tau_q) + B_q K'_0(\tau_q)], \quad (3)$$

Cas de deux conducteurs en contact. — Soient alors $a_q = \frac{x_q}{\alpha_q}$ et $b_q = \frac{y_q}{\alpha_q}$ les rayons extérieur et intérieur du $q^{\text{ième}}$ conducteur ; I_q , le courant dans ce conducteur. On a aisément par les lois de l'électromagnétisme

$$A_q J'_0(y_q) + B_q K'_0(y_q) = \frac{2\mu q j P}{y_q} (I_1 + I_2 + \dots + I_{q-1}),$$

$$A_q J'_0(x_q) + B_q K'_0(x_q) = \frac{2\mu q j P}{x_q} (I_1 + I_2 + \dots + I_q).$$

Si E'_q et E''_q sont les champs électriques sur les surfaces intérieure et extérieure du $n^{\text{ième}}$ conducteur, on trouve en opérant de proche en proche

$$\begin{aligned} E'_q &= \sum Z'_{qj} I_j, \\ E''_q &= \sum Z''_{qj} I_j. \end{aligned} \quad (4)$$

les quantités $Z_{qq'}$ étant des coefficients faciles à calculer.

⁽¹⁾ J.-R. CARSON et J.-J. GILBERT, *J. of the Franklin Inst.*, décembre 1921, t. cxvii, p. 755-755, 8000 mots, 8 fig.

⁽²⁾ Toutes les quantités que nous considérerons seront de la forme $A \exp[\Gamma z + jPt]$ de sorte que nous n'aurons pas besoin, dans tout ce qui suit, d'exprimer explicitement l'exponentielle.

et contenant les fonctions de Bessel d'ordre zéro des divers rayons de séparation.

Cas de deux conducteurs séparés par un isolant. — La relation de Faraday appliquée à l'isolant compris entre les conducteurs de rangs q et $q + 1$ donne, en appelant V le potentiel en un point de cet isolant,

$$-\frac{\partial V}{\partial Z} + E''_{q+1} - E''_q = 2\mu j p (I_1 + \dots + I_q) \log_e \frac{b_{q+1}}{a_q}, \quad (5)$$

mais, si Q_q est la charge portée par le conducteur de rang q ,

$$V_q = \frac{2}{k_q} \log_e \frac{b_{q+1}}{a_q} (Q_1 + \dots + Q_q),$$

D'où, en appelant g la conductibilité du diélectrique,

$$V_q = 2 (I_1 + \dots + I_q) \frac{\Gamma}{4\pi g g_q + j p k_q} \log_e \frac{b_{q+1}}{a_q}. \quad (6)$$

Portons dans la relation (5) les valeurs de V et de E tirées de (6) et (4). Il vient

$$2 \log \frac{a_q}{b_{q+1}} \left[\frac{\Gamma^2}{4\pi g g_q + j p k_q} - j p \omega_q \right] [I_1 + I_2 + \dots + I_q] \\ = 2 Z_q [I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_q] = \Sigma [Z'_{q+1,1} - Z''_{q,1}] I_q,$$

On obtient n relations linéaires homogènes entre les I . La condition de compatibilité devient alors

$$0 = \begin{vmatrix} Z'_{21} - Z'_{11} & Z'_{22} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z'_{q+1,1} - Z'_{q,1} + Z_q & Z'_{q+1,2} - Z'_{q,2} + Z_q & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z'_{n,1} & Z'_{n,2} & Z_{n,n} \end{vmatrix},$$

ce qui est une équation en r^2 de degré égal au nombre de couches d'isolant. Il y a donc autant de modes de propagation qu'il y a de branches dans le réseau de conducteurs.

Par suite, une anomalie dans l'impédance peut avoir pour cause une liaison défectueuse entre les conducteurs, par exemple, un joint mal fait ou une mise à la mer; inversement, une liaison convenable peut réduire considérablement l'impédance.

II. APPLICATION. — Appliquons ce qui précède à un câble ayant une âme cylindrique de cuivre, entourée d'un isolant, d'une couche de jute et d'une armature cylindrique continue en fer. On suppose que le jute est assez humide pour maintenir l'armature de fer au même potentiel que la mer, sans laisser cependant passer un courant appréciable. Les résultats du calcul dans un cas particulier sont reproduits (fig. 1) courbes A et B. Les courbes C et D se rapportent au même câble, mais sans armure de fer.

Toutefois, on peut se demander dans quelle mesure l'hypothèse d'une couche de fer continue représente les phénomènes réels, puisque les intervalles entre les fils peuvent avoir pour effet, en diminuant l'énergie dissipée dans l'armure, de diminuer l'effet d'écran. Si nous supposons un câble comme celui représenté figure 2, le manque de symétrie cylindrique fait que le champ dans l'eau de mer doit satisfaire à l'équation différentielle

$$\frac{\partial^2 E}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E}{\partial \varphi^2} - 4\pi \gamma \mu j p E = 0,$$

dont la solution est de la forme de Fourier-Bessel

$$E = A_0 K_0(r\alpha) + A_1 K_1(r\alpha) \cos \varphi + \dots + A_n K_n(r\alpha) \cos n\varphi + \dots,$$

r et φ étant rapportés à l'axe du fil considéré. On se reportera au mémoire pour le développement des calculs assez

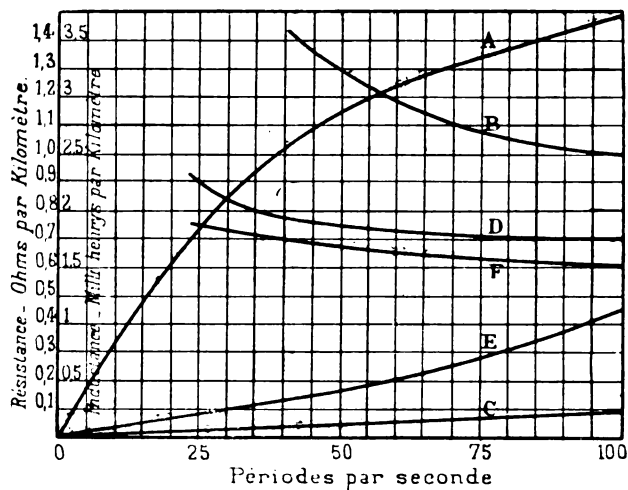


Fig. 1. — Courbes donnant les valeurs de l'inductance et de la résistance pour le retour par la mer en fonction de la fréquence.

A, courbe de résistance pour câble avec armure de fer; B, courbe d'inductance pour câble avec armure de fer; C, courbe de résistance pour câble sans armure; D, courbe d'inductance pour câble sans armure; E, courbe de résistance pour câble avec armure en fils toronnés; F, courbe d'inductance pour câble avec armure en fils toronnés.

laborieux. Les résultats sont indiqués courbes E et F (fig. 1). Les conclusions sont les suivantes :

1° L'armure de fer diminue la fraction du courant de retour transportée par la mer; pour une fréquence suffisante, tout le courant passe pratiquement dans l'armure;

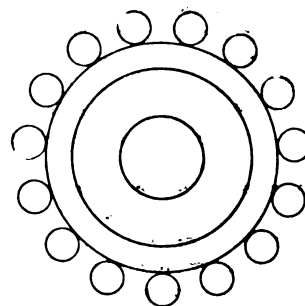


Fig. 2. — Section d'un câble sous-marin constitué par un conducteur isolé, recouvert d'une couche de jute et d'une armure de n fils.

2° Pour un diamètre donné de l'axe et un poids donné de fer, on peut choisir le nombre et le diamètre des fils d'armure, de façon à rendre minimum l'impédance de retour.

Les résultats ont été vérifiés expérimentalement et trouvés exacts à 2 pour 100 près.

A. F.

SECTION INDUSTRIELLE

Sur les détériorations des canalisations métalliques souterraines

L'auteur indique sommairement les diverses causes de détérioration des conduites souterraines et les difficultés de départager, entre ces diverses causes, les détériorations constatées. Il critique d'une façon générale la méthode de MM. J. Chappuis et H. Desprez, relative à la détermination de l'origine des courants vagabonds⁽¹⁾, et il applique ses critiques à un cas concret qui a donné lieu à des essais auxquels il a pris part.

Les divers modes de détériorations. — Depuis de nombreuses années, les diverses compagnies possédant des canalisations métalliques enterrées — conduites de gaz ou d'eau et câbles électriques — constatent que, dans certaines zones bien délimitées, leurs canalisations se détériorent rapidement.

Ces détériorations, qui affectent la forme de piqûres et de cratères, peuvent être produites de trois façons :

- 1° Par action directe de réactifs contenus dans le sol ;
- 2° Par action électrolytique ;
- 3° Par la superposition des deux actions.

Dans le premier et le troisième cas, l'analyse chimique de la terre environnant la conduite peut montrer quels sont les agents destructeurs. En général, ce sont des acides organiques, des chlorures, sulfates ou carbonates alcalins ou alcalino-terreux.

Dans le second et le troisième cas, les courants provoquant l'électrolyse peuvent être dus aux causes suivantes :

- Force électromotrice de contact ;
- Force électromotrice d'origine tellurique ;
- Installations électriques mal isolées ;
- Installations électriques employant la terre comme conducteur de retour ;
- Installations de traction, équipées aussi bien en courant alternatif qu'en courant continu.

Partage des effets nocifs entre les divers modes de détériorations. — Une première difficulté, et non la moindre, réside dans la détermination de la proportion des effets dus aux actions purement chimiques et aux actions électrochimiques. Nous n'en parlerons pas ici. La deuxième difficulté réside dans la nécessité de départager les courants supposés nocifs et de déterminer dans quelles proportions chaque courant a détérioré la canalisation.

Lorsque le courant est dû à une force électromotrice de contact, ou à une auto-électrolyse, il n'est pas, actuellement, possible de l'incriminer nettement, sauf, cependant, dans quelques cas très nets : par exemple, lorsqu'une détérioration se produit en un point de contact de deux métaux différents.

Le problème le plus compliqué se pose lorsqu'il y a, auprès d'une canalisation détériorée, des réseaux équipés électriquement et dont les effets se superposent dans le sol à ceux dus aux forces électromotrices de contact et aux diverses causes que l'on pourrait appeler naturelles. Il faut, en effet, déterminer exactement :

- 1° La part des dégâts dus aux phénomènes naturels ;
- 2° Pour le reste, la part de responsabilité de chacun des exploitants.

Disons, tout de suite, qu'il n'existe actuellement aucune méthode permettant de faire tout ou partie de ces déterminations.

Procédé habituel de répartition des responsabilités. — Lorsqu'il s'agit de rechercher des responsabilités, les imaginations se laissent aller à la plus aimable fantaisie, et chacun propose des conclusions plus ou moins bizarres, *mais qui peuvent toujours se soutenir*, car l'on ne peut faire aucun essai ayant quelque valeur. Voici quel est, actuellement, le processus employé dans les affaires d'électrolyse pour le cas, qui se présente neuf fois sur dix, du problème le plus compliqué.

On part de cette idée préconçue et fautive que les réseaux de traction sont coupables, et l'on invoque la différence de potentiel entre rail et canalisation, dans la région des détériorations.

L'existence d'une différence de potentiel ne prouve rien, même si la conduite est positive par rapport au rail. Le fait que l'on constate une différence de potentiel considérable n'implique nullement qu'il doive passer un courant considérable de la conduite au rail : en effet, la résistance de la terre et des contacts, variable d'un point à l'autre, est, en général, très grande.

On fait ensuite des coupures du courant alimentant la région et, si le voltmètre tombe au zéro, on en conclut que les compagnies exploitantes sont coupables ; mais, le voltmètre ne tombe jamais au zéro. Il reste toujours quelques dixièmes de volt dont on se refuse systématiquement à tenir compte ; et cependant ces dixièmes ont leur importance. En effet, que le tramway marche ou ne marche pas, le courant qui résulte de cette différence de potentiel résiduelle passe constam-

(1) R. U. E., 7 janvier 1924, t. XI, p. 3-5.

ment, jour et nuit, ainsi qu'en font foi tous les graphiques que nous avons relevés. D'autre part, si, lors de la coupure des courants d'alimentation, le voltmètre ne tombe pas au zéro, les compagnies sont tout de même condamnées.

Méthode de MM. J. Chappuis et H. Desprez. — C'est dans le but d'éclairer un peu les ténèbres qui entourent toutes les affaires de détériorations de conduites que MM. James Chappuis et Hubert Desprez ont proposé une méthode de recherche exposée par la « R. G. E. » à ses lecteurs dans son numéro du 7 janvier 1922, t. XI, n° 1, p. 3-5.

Cette méthode, qui est une variante de celle présentée à l'Académie des Sciences par les mêmes auteurs, peut se résumer en quelques mots :

1° Envoyer, au moyen d'un émetteur quelconque, des vibrations caractéristiques dans le circuit présumé coupable de détériorations ;

2° Ecouter si l'on entend ces vibrations dans un circuit téléphonique, comprenant un amplificateur à basse fréquence branché sur la canalisation (soit intercalé si la canalisation est coupée, soit en dérivation dans le cas contraire).

D'après MM. Chappuis et Desprez, de deux choses l'une :

a) Ou bien l'on *n'entend rien*, et l'on peut affirmer que l'installation suspectée ne laisse vagabonder aucun courant ;

b) Ou bien l'on *entend l'émetteur*, auquel cas l'on peut affirmer qu'il y a dérivation du courant incriminé.

Les auteurs ont, d'ailleurs, comparé leur méthode à celle qui consiste à jeter dans l'eau d'une rivière la fluorescéine qui permettra d'identifier les dérivations inconnues.

Cependant, il est une objection qui vient immédiatement à l'esprit : le circuit suspecté étant parcouru par le courant vibré de l'émetteur, n'est-il pas possible, dans certains cas, en particulier quand l'un des conducteurs est parallèle à la canalisation détériorée, que ce courant donne naissance dans la canalisation à un courant induit de même forme ?

On pourrait alors entendre l'émetteur sans qu'il y ait dérivation de courant.

De plus, en admettant que l'on puisse découvrir l'origine des courants vagabonds nocifs, il est impossible de déterminer, par cette méthode, les proportions des responsabilités.

Application de la méthode Chappuis-Desprez.

— Seules des expériences pouvaient éclairer la religion des spécialistes sur la valeur du procédé ; elles furent faites tout dernièrement.

La Société du Gaz de Paris ayant eu, face au n° 61 de la rue de Flandre, une conduite de gaz détériorée, imputait les dégâts commis à des phénomènes d'électrolyse dus à des courants vagabonds. Elle attribuait la responsabilité de ces détériorations conjointement à la Société des Transports en commun de la Région

parisienne, dont les voies suivent la rue de Flandre, et à la Compagnie du Chemin de Fer métropolitain de Paris, dont la ligne 7 suit aussi la rue de Flandre.

Les premières mesures faites n'ayant permis aucune constatation bien nette, l'appareil de MM. Chappuis et Desprez fut essayé.

L'émetteur se composait schématiquement d'un tube à vide à trois électrodes, dont le circuit plaque était alimenté sur l'un des circuits de traction des compagnies incriminées. On agissait sur le circuit grille par l'intermédiaire d'un transformateur, soit au moyen d'un vibreur Boucherot, soit au moyen d'un microphone (fig. 1).

Le récepteur était un amplificateur du type L1, modifié par la Société du Gaz. Il comprenait 4 lampes

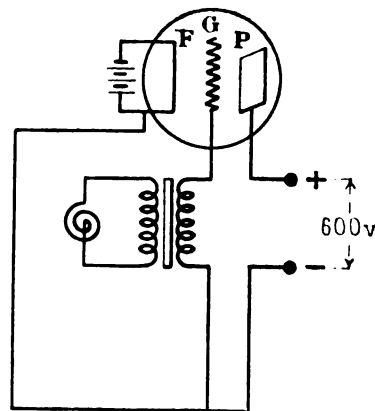


Fig. 1. — Emetteur Chappuis et Desprez pour déceler les courants vagabonds.

réalisant 3 étages d'amplification, les deux dernières lampes étant montées en parallèle.

Dans une première série d'essais, le récepteur est branché en série dans la conduite MN coupée face au n° 61. Toutefois, pour éviter qu'il soit parcouru par un

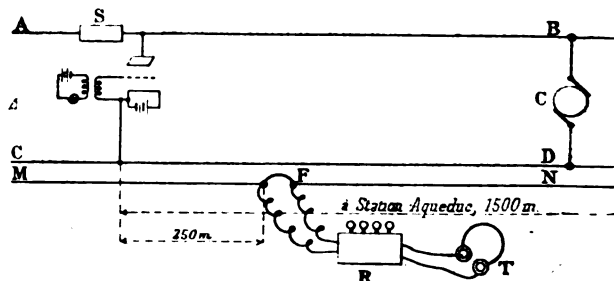


Fig. 2. — Alimentation de l'émetteur par la sous-station Aqueduc.

courant trop intense, il est shunté par un fil de cuivre F d'une section de l'ordre 10/10 mm (fig. 2).

L'alimentation en énergie du tramway est assurée rue de Flandre, pour la région comprise entre la barrière et les n° 86 et 101, par la sous-station Aubervilliers, située rue des Quatre-Chemins, à Aubervilliers.

et pour la partie comprise entre le n° 86 et le boulevard de la Villette par la sous-station Aqueduc, située à Paris, rue de l'Aqueduc. Un sectionneur placé sur le fil de trolley limite les zones d'influences de ces deux sous-stations, et c'est au droit de ce sectionneur que l'on place l'émetteur.

Le Métropolitain, dont les voies suivent le sous-sol de la rue de Flandre, est alimenté uniquement par sa sous-station Villette, située aussi rue de l'Aqueduc (fig. 3).

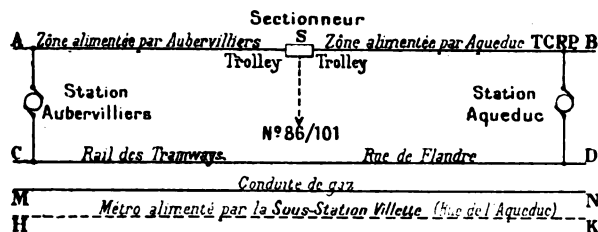


Fig. 3. — Schéma général de la zone intéressée.

Les essais que nous avons faits sont résumés ci-dessous :

Premier essai. — Au moyen d'une prise au trolley, on alimente l'émetteur par la sous-station Aqueduc.

Le schéma de l'installation est indiqué figure 2.

Dans ces conditions, on perçoit nettement au téléphone le son du vibreur et même la voix de l'opérateur en branchant le microphone.

Deuxième essai. — En branchant la prise au trolley du côté opposé du sectionneur, on alimente l'émetteur par la sous-station Aubervilliers (fig. 4).

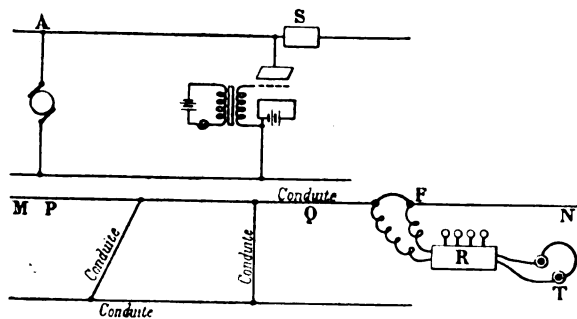


Fig. 4. — Alimentation de l'émetteur par la sous-station Aubervilliers.

On ne perçoit plus du tout la voix et l'on n'entend plus que très faiblement le vibreur.

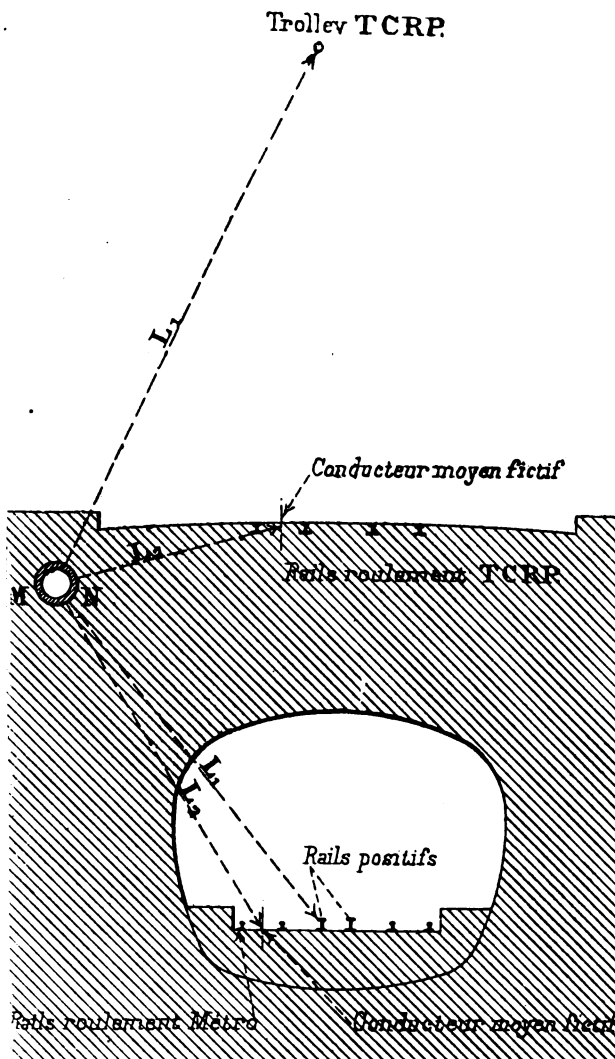
Troisième essai. — L'appareil d'émission étant branché sur les voies du métropolitain, on n'entend rien.

Discussion des essais. — De là à conclure que la Société des Transports en commun de la Région parisienne était non seulement coupable, mais aussi seule coupable, il n'y avait qu'un pas qui fut vite franchi par la Société du Gaz de Paris.

Cependant, les ingénieurs de la Société des Trans-

ports en commun de la Région parisienne soutenaient la thèse contraire et prétendaient que, non seulement les résultats trouvés étaient normaux, mais qu'on n'en pouvait pas trouver d'autres.

En effet, dans le premier essai, la conduite et les voies T. C. R. P. sont parallèles sur une longueur d'environ 1500 m, et la distance les séparant n'est que d'environ 3 m. Comme, d'autre part, les conduites de gaz forment de vastes cadres, il n'était pas absurde de penser que les sons perçus au téléphone étaient dus,



partie P, soumise à l'induction, fait partie d'un cadre de faible résistance, tandis que l'ensemble P — Q fait partie d'un cadre de résistance très supérieure.

Enfin, le fait de n'avoir pas entendu l'émetteur lorsqu'il était alimenté par le courant du métropolitain n'infirme en rien l'hypothèse de l'induction.

En effet, à un instant précis, le courant est de sens inverse dans les voies de roulement et les conducteurs positifs (contre-rails sur métropolitain ou trolley sur trainway). Dans le cas du tramway, la différence $L_1 - L_2$, en appelant L_1 la distance du conducteur positif à la conduite et L_2 la distance d'un conducteur négatif moyen à la conduite, est des plus notables; alors que dans le cas du métropolitain, le contre-rail étant très voisin des voies de roulement, L_1 est sensiblement égal à L_2 et l'action résultante sur la conduite est nulle (fig. 5).

Des essais complémentaires ont été faits. Tous confirment l'opinion des ingénieurs de la Société des Transports en commun de la Région parisienne. En premier lieu, le poste récepteur fut placé en un point symétrique de celui qu'il occupait, lors des premiers essais, par rapport à l'émetteur (fig. 6). Les résultats obtenus furent aussi symétriques, en ce sens que ce fut alors le courant d'Aubervilliers qui fut entendu fortement et celui d'Aqueduc qui fut perçu avec une intensité moindre.

Enfin, d'autres essais furent faits sur des conduites transversales, en l'espèce, rue de Crimée.

Les résultats obtenus constituent des arguments supplémentaires pour la défense de l'hypothèse des courants induits.

Conclusion. — En résumé, aucun des essais effectués à l'aide de la méthode de MM. Chappuis et Desprez n'a apporté de lumière. Tous les résultats obtenus

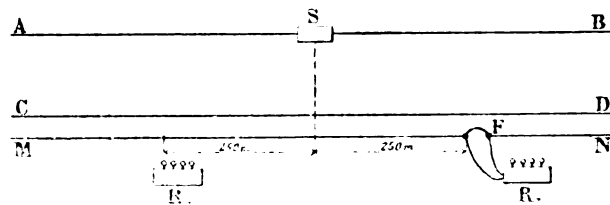


Fig. 6. — Récepteur R_2 dans une position symétrique de la première R_1 .

sont *absolument normaux* et se retrouveraient en n'importe quel point, qu'il y ait ou non courant vagabond. La méthode n'est donc pas au point et ne peut être, actuellement, d'aucun secours pour déterminer la responsabilité de qui que ce soit dans les affaires dites d'électrolyse.

Maurice GUTIERRES,
Ingénieur des Arts et Manufactures

Sur la mise à la terre du neutre d'une ligne ou d'un réseau triphasé

Faut-il isoler le neutre d'une ligne de transmission ou d'un réseau de distribution, faut-il le mettre directement à la terre, ou bien faut-il le mettre à la terre par l'intermédiaire d'une résistance? Avant de répondre à ces questions, l'auteur passe rapidement en revue les avantages et les inconvénients des différents systèmes.

Neutre à la terre. — Dans une installation où le neutre est à la terre, lorsqu'une terre se produit accidentellement sur l'une des phases, cette phase est en court-circuit, par l'intermédiaire de la terre. Il en résulte un courant de court-circuit, plus ou moins intense suivant l'endroit où s'est produit l'accident et suivant le genre d'accident. Le courant de court-circuit a pour effet de provoquer le déclenchement des interrupteurs automatiques commandant la ligne sur laquelle la terre s'est produite, ou de provoquer la fusion des fusibles; la ligne est mise hors de service, l'exploitation est interrompue.

Neutre isolé. — Lorsque les phases sont équilibrées, tout se passe, sauf accident, comme si le neutre était relié à la terre. En fait, le neutre se trouve au potentiel de la terre, parce que les courants de capacité et de perte égalisent les tensions des trois phases par

rapport à la terre. La situation change lorsqu'un court-circuit se produit entre une phase et la terre; à ce moment, le neutre prend par rapport à la terre la tension simple et les deux autres phases prennent la tension composée. Il n'y a pas de courant de court-circuit; l'exploitation peut continuer, contrairement à ce qui se passe lorsque le neutre est à la terre, jusqu'au moment où le défaut a été repéré et réparé. Malheureusement, cette élévation brusque de tension, entre la terre et les deux phases et entre la terre et le neutre, a parfois, dans la pratique, des conséquences funestes. En tous les points du réseau, ou de la ligne, où le facteur d'isolement ne suffit pas pour cette élévation de tension, il se produit un court-circuit accidentel. C'est ainsi que nous avons assisté, dans un cas semblable, à l'incendie simultané de deux transformateurs installés à très grande distance de l'endroit du réseau où la rupture d'un isolateur avait mis une phase à la terre. Il est cer-

tain que ce fait ne devrait pas se produire, le coefficient de sécurité étant en théorie partout suffisant. En général, on choisit un type d'appareil, d'isolateur par exemple, correspondant à la tension composée, sans tenir compte du fait que le neutre est isolé ou à la terre; dans le premier cas, le coefficient de sécurité est plus faible. Pour les câbles, les règles françaises d'unification prévoient un essai après pose avec une tension entre plomb et fil égale à 1,5 fois la tension composée. Lorsque le neutre est à la terre, la sécurité réelle est $1,5\sqrt{3} = 2,6$; lorsque le neutre est isolé, la sécurité n'est que 1,5. Il arrive souvent que, après quelques années d'exploitation, le coefficient de sécurité diminue, de telle sorte que le câble supporte encore la tension simple entre phase et plomb, mais ne supporte plus la tension composée.

Signalons encore que l'élévation de tension entre deux phases et la terre, correspondant à une terre sur une phase, a comme conséquence une augmentation du courant de capacité, et une augmentation des pertes par l'effet corona pour les lignes de transport à très haute tension. Sauf dans des cas spéciaux, il n'y a cependant, en pratique, pas lieu d'en tenir compte.

Neutre à terre par l'intermédiaire d'une résistance. — Dans une installation avec résistance entre neutre et terre, on évite les inconvénients d'un court-circuit franc entre les phases et le neutre lorsqu'une phase est mise accidentellement à la terre, c'est-à-dire qu'on évite les dangers qui peuvent résulter d'un courant de court-circuit très intense jusqu'au moment où les disjoncteurs se sont ouverts. D'autre part, si une très bonne terre accidentelle se produit sur une phase, il en résulte, pendant le temps qui s'écoule avant le déclenchement des disjoncteurs, une élévation de tension sur les autres phases, qui peut causer les mêmes accidents que si le neutre était isolé. La mise à la terre du neutre par l'intermédiaire d'une résistance ne permet pas de continuer l'exploitation.

Nous avons donc, avec ce dispositif, les inconvénients réunis des deux autres systèmes. Nous ne croyons pas qu'il soit à recommander.

Neutre à la terre ou neutre isolé. — Pour faire un choix entre ces deux systèmes, il est nécessaire d'examiner chaque cas particulier d'installation: le choix dépendra du réseau sans qu'il soit possible d'adopter une règle générale.

La mise à la terre du neutre d'un circuit sera à recommander lorsque la mise hors service de ce circuit par suite d'une terre accidentelle sur une phase ne créera pas d'interruption de service pouvant avoir des conséquences graves.

Prenons comme exemple une distribution haute tension par câbles dans une ville importante. La centrale alimente les différentes stations de transformation réparties dans la ville par l'intermédiaire d'un grand nombre de feeders bouclés. Dans une installation moderne importante bien comprise, la mise hors circuit

d'un tronçon de câble peut presque toujours être effectuée sans inconvénients graves, car les stations sont alimentées, pour la plupart, par au moins deux feeders. Si le neutre est à la terre, un court-circuit sur une phase provoque le déclenchement des disjoncteurs correspondant au tronçon de câble sur lequel l'accident s'est produit; le câble avarié est mis hors service, mais ceci se traduit simplement par une charge plus forte sur les autres câbles et, dans le cas le plus défavorable, par une interruption sur une petite partie du réseau. Si le neutre est isolé, le même accident peut mettre en danger tous les autres câbles, transformateurs et appareils qui sont soumis brusquement à une tension plus élevée par rapport à la terre. Les conséquences peuvent être très graves. Dans une installation pareille, il faut, sans hésiter, mettre le neutre à la terre. C'est ainsi que, dans ces dernières années, quatre réseaux de la région de New-York ont été mis à la terre⁽¹⁾: on a constaté depuis une amélioration de l'exploitation. Il faut noter que l'on a installé sur trois de ces réseaux des systèmes de protection spéciaux qui débloquent un feeder très rapidement en cas de terre accidentelle. M. P. Testard a décrit, dans la « R. G. E. » du 18 février 1922, les systèmes de protection Ferranti qui remplissent ce but.

Prenons un autre exemple et considérons une centrale hydraulique reliée à un centre de distribution par plusieurs lignes. Si le nombre de lignes est suffisant pour permettre d'en retirer quelques-unes du service sans pour cela que l'exploitation en souffre, il sera certainement avantageux de mettre le neutre à la terre. Par contre, si la centrale est reliée au centre de distribution par une seule ligne à haute tension, il est certain qu'il faut isoler le neutre, en raison des graves conséquences qui résulteraient d'une mise hors service de la ligne jusqu'à ce que le défaut ait été repéré et écarté.

Il y a lieu de remarquer qu'en général le coefficient de sécurité d'une ligne aérienne est supérieur à celui d'un câble, et que les dangers résultant d'une élévation de tension dans le cas d'un neutre isolé, par suite de la mise à la terre d'une phase, sont moins grands que pour un réseau de câbles. Il faut noter, en outre, qu'en général, lorsque le réseau est en câbles, il y a plus de lignes en parallèle que dans le cas de lignes aériennes. Il résulte de ces considérations que, dans la plupart des cas, le neutre isolé sera appliqué avec des lignes aériennes, et le neutre à la terre avec des lignes souterraines. Cette règle ne doit cependant pas être considérée comme absolue, et des exceptions seront souvent parfaitement justifiées.

Il y a lieu encore d'ajouter que pratiquement l'avantage du neutre isolé, c'est-à-dire la possibilité de continuer l'exploitation lorsqu'une phase est mise accidentellement à la terre, est souvent illusoire avec un réseau de câbles, et ceci pour la raison suivante: lorsqu'un accident se produit sur un câble et qu'une phase est mise à la terre, il se produit en général un arc. Cet arc, qui est un arc de court-circuit dans le cas du neutre à

(1) *Proceedings of the A. I. E. E.*, juin 1919, t. xxxviii.

la terre, est moins intense dans le cas du neutre isolé, car le courant qui passe par l'arc est limité par le courant de capacité et de perte des autres phases. Cet arc dépend de l'étendue et de la tension du réseau, mais il est en général suffisant pour diminuer l'isolement des deux autres phases et provoquer un court-circuit entre phases. On voit ainsi que, dans ce cas, même avec le neutre isolé, l'exploitation est pourtant interrompue. On peut remédier, il est vrai, dans une certaine mesure, à cet inconvénient à l'aide d'un dispositif qui met franchement et d'une manière permanente à la terre la phase sur laquelle l'arc s'est produit. L'arc s'éteint ainsi immédiatement et quelquefois avant d'avoir endommagé l'isolement des autres phases.

Avec une ligne aérienne, cet inconvénient ne se présente pas, car, dans le cas de la rupture d'un isolateur, même s'il se produit un arc entre le fil et le support, cet arc est trop éloigné des fils des autres phases pour endommager les isolateurs qui les portent.

Où faut-il mettre le neutre à la terre ? — Lorsqu'il a été décidé de mettre le neutre à la terre, la question se pose encore de savoir où cette mise à la terre doit se faire. Faut-il mettre le neutre à la terre en plusieurs points, par exemple à tous les transformateurs, ou seulement en un point du réseau ? Nous estimons qu'il convient de mettre, en tous les points du réseau où cela est possible, le neutre à la terre, et cela, pour les raisons suivantes :

En premier lieu, l'on est certain ainsi que, partout et toujours, la tension entre le neutre et la terre sera nulle. Il est important, en outre, d'avoir une terre aussi bonne que possible pour éviter des surtensions au cas où une phase serait mise accidentellement à la terre ; en mettant le neutre à la terre en plusieurs points, on obtient à ce point de vue une sécurité plus grande. Si l'on ne met pas franchement à la terre le neutre à la sortie de tous les transformateurs, il est nécessaire de l'isoler à l'intérieur du transformateur et on ne peut pas sans danger le relier à la cuve, d'où il résulte une augmentation du prix et des dimensions du transformateur.

Il faut encore tenir compte de la considération suivante : Il est rare que, pendant l'exploitation, un transformateur reste en permanence relié au réseau. Si le réseau est mis à la terre en un seul point, et précisément à l'un des transformateurs, il faut avoir soin, chaque fois que ce transformateur est mis hors de service, d'en mettre un autre à la terre. Il y a là une complication de service qu'il faut, si possible, éviter, car l'oubli de cette précaution pourrait avoir des conséquences graves.

Il est vrai que la mise à la terre du neutre en plusieurs points peut avoir pour conséquence une circulation de courant par la terre entre ces points, si le réseau n'est pas bien équilibré, et créer, par suite, des troubles (dans un réseau téléphonique par exemple). S'il n'était pas possible d'éviter ces troubles, soit par un meilleur équilibrage, soit en éloignant les lignes téléphoniques, il faudrait se résigner à mettre le neutre à la terre en un seul point, en prenant des précautions pour éviter, dans la mesure du possible, les inconvénients signalés plus haut.

Comment faut-il mettre le neutre à la terre ?

— Il est tout d'abord indispensable d'avoir une bonne terre et une résistance de terre aussi faible que possible, pour éviter des surtensions dans le réseau. Le moyen le plus simple de réaliser ces desiderata est de mettre le neutre à la terre dès la sortie des transformateurs. Il peut se présenter ici une difficulté, du fait que, si les transformateurs sont bobinés en triangle, cela n'est pas immédiatement réalisable. Nous ne nous étendrons pas sur les considérations qui peuvent faire choisir, pour un transformateur, des connexions en triangle, étoile ou zig-zag ; elles sortiraient du cadre de cette étude. Nous nous bornerons à constater qu'elles sont tout à fait indépendantes de la mise à la terre ou de l'isolement du neutre, de telle sorte qu'il pourra arriver fréquemment que l'on soit amené à mettre à la terre le neutre d'un réseau dont les transformateurs sont bobinés en triangle, ou qu'au contraire, l'on soit amené à isoler le neutre même si des transformateurs sont bobinés en étoile ou en triangle.

La présence de transformateurs tous bobinés en triangle n'empêche d'ailleurs pas la mise à la terre du neutre, mais elle oblige à créer un neutre artificiel, à l'aide d'un équilibreur de tensions, par exemple. Nous ne voulons pas entrer dans la description et l'étude de ce genre d'appareils ; nous renvoyons à l'étude publiée ici par M. Dubar sur la « Création d'un point neutre artificiel dans un réseau monophasé ou triphasé ⁽¹⁾. » Signalons simplement que l'équilibreur de tensions peut être constitué par un transformateur étoile-triangle dans lequel les bornes primaires sont reliées au réseau et le neutre primaire à la terre ; le circuit secondaire n'a pas de connexions extérieures.

M. KOEHLIN,
Ingénieur à Bâle.

(1) *R. G. E.*, 3 août 1918, t. IV, p. 132.

Revue, analyses et informations

La sécheresse des années 1920-1921 dans la région des Alpes et le Sud-Est de la France ⁽¹⁾.

Cette étude a été faite à la demande des sociétés de production d'énergie hydroélectrique ci-après : Société Energie électrique du Littoral méditerranéen ; Société du Sud-Electrique ; Société générale de Force et Lumière (Grenoble) ; Société hydroélectrique de Furc, Morge et Vizille ; Société des Forces motrices du Haut-Grésivaudan ; Société lyonnaise des Forces motrices du Rhône ; Compagnie du Gaz et Electricité de Lyon ; Compagnie électrique de la Loire et du Centre ; Société méridionale de Transport de Force ; Société pyrénéenne d'Energie électrique ; Société Energie électrique du Sud-Ouest ; Société des Forces motrices du Vercors.

Elle emprunte ses données numériques aux services officiels : Bureau central météorologique de France ; Office national météorologique, Service des grandes Forces hydrauliques du Sud-Est.

Deux notes de M. le géographe Charles Rabot la précèdent ; la première met en relief « Les causes de la disette d'eau dans les Alpes à la fin de 1921 » ; la seconde étudie dans ses détails les régimes des « Neiges et glaciers » des Alpes françaises.

M. Rabot établit la distribution moyenne des pluies au cours d'une longue suite d'années consécutives, et l'importance capitale des pluies d'automne pour l'alimentation des cours d'eau, aussi bien dans les Alpes de la Savoie et du Dauphiné que dans le bassin de la Durance. « Seules, ces pluies d'automne empêchent l'étiage d'hiver de se produire dès la fin du mois d'août. Or ces pluies si utiles, indispensables même à la vie économique du pays, ne se sont pas produites en 1921. » Et, circonstance aggravante, l'hiver 1920-1921 avait été déjà particulièrement sec.

Les glaciers des Alpes, dans un état de volume minimum depuis le xvi^e siècle, ont commencé à subir, en 1906, un très léger accroissement. Mais l'hiver 1920-1921 ayant donné peu de neige, et les températures ayant été élevées dès le début de l'été, les hautes rives et les glaciers ont été attaqués très tôt et avec énergie ; dès que les chaleurs ont pris fin, les pluies d'automne ne survenant pas, les sources habituelles d'alimentation des torrents ont été taries. « Les températures excessives de 1921 laissent les glaciers des Alpes françaises dans un état de minimum excessif. Si de très copieuses chutes de neige ne viennent pas à se produire avant le printemps, la situation deviendra de plus en plus critique. »

M. Tarrade consacre le premier chapitre de son mémoire à l'étude des pluies en France pendant les années 1920-1921. Les graphiques que nous produisons (Pl I et II) synthétisent les résultats relatifs aux pluies totales annuelles. Les tableaux A, B, C, permettent de comparer les hauteurs de pluie dans les diverses saisons, de constater l'absence presque complète de précipitation pendant l'automne 1921, et de mesurer, relativement aux sécheresses antérieurement observées, la sécheresse exceptionnelle 1920-1921.

Dans le deuxième chapitre, M. Tarrade traite de l'assèchement des sources et de l'abaissement exceptionnel du niveau

TABLEAU A.

| STATIONS | HIVER DÉCEMBRE-JANVIER-FÉVRIER | | | PRINTEMPS MARS-AVRIL-MAI | | |
|--------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| | eau tombée en 1920-1921 | moyenne des années antérieures | pourcentage de la moyenne | eau tombée en 1921 | moyenne des années antérieures | pourcentage de la moyenne |
| Paris..... | 61 | 105 | 58 | 79 | 119 | 66 |
| Lyon..... | 79 | 114 | 60 | 144 | 179 | 80 |
| Genève..... | 87 | 157 | 55 | 127 | 188 | 68 |
| Grenoble... | 150 | 196 | 77 | 149 | 222 | 67 |
| Embrun.... | 32 | 135 | 24 | 89 | 174 | 51 |
| Gap..... | 45 | 168 | 27 | 147 | 208 | 71 |
| Sisteron.... | 18 | 153 | 12 | 139 | 232 | 60 |
| Draguignan. | 84 | 202 | 42 | 196 | 352 | 78 |
| Marseille... | 36 | 137 | 26 | 117 | 140 | 84 |
| Nice..... | 94 | 199 | 47 | 84 | 225 | 37 |

TABLEAU B.

| STATIONS | ÉTÉ JUIN-JUILLET-AOÛT | | | AUTOMNE SEPTEMBRE-OCTOBRE-NOVEMBRE | | |
|--------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| | eau tombée en 1921 | moyenne des années antérieures | pourcentage de la moyenne | eau tombée en 1921 | moyenne des années antérieures | pourcentage de la moyenne |
| Paris..... | 63 | 150 | 46 | 69 | 139 | 50 |
| Lyon..... | 159 | 218 | 73 | 61 | 223 | 27 |
| Genève..... | 199 | 237 | 84 | 61 | 263 | 23 |
| Grenoble... | 154 | 256 | 60 | 77 | 269 | 29 |
| Embrun.... | 71 | 192 | 37 | 35 | 228 | 15 |
| Gap..... | 136 | 174 | 78 | 51 | 293 | 17 |
| Sisteron.... | 115 | 161 | 71 | 33 | 326 | 10 |
| Draguignan. | 63 | 233 | 27 | 51 | 348 | 15 |
| Marseille... | 36 | 63 | 57 | 34 | 243 | 14 |
| Nice..... | 34 | 95 | 36 | 15 | 328 | 5 |

TABLEAU C.

| STATIONS | ANNÉE MÉTÉOROLOGIQUE la plus sèche connue | | HAUTEUR d'eau | DIFFÉRENCE absolue |
|-----------------------|----------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|-----------------------|
| | année | hauteur d'eau | 1 ^{er} déc. 1920 30 nov. 1921 | |
| Paris..... | 1884 | 327 | 278 | — 49 |
| Nancy..... | 1884 | 555 | 428 | — 127 |
| Orléans..... | 1904 | 419 | 303 | — 116 |
| Vesoul..... | 1906 | 667 | 485 | — 182 |
| Les Seillons (Nièvre) | 1911 | 1 087 | 799 | — 288 |
| Pontarlier.. | 1898 | 981 | 704 | — 277 |
| Lyon..... | 1871 | 478 | 413 | — 65 |
| Genève..... | 1884 | 543 | 474 | — 69 |
| Grenoble.... | 1887 | 551 | 530 | — 21 |
| Gap..... | 1906 | 409 | 379 | — 30 |
| Embrun..... | 1884 | 458 | 227 | — 231 |
| Sisteron.... | 1905 | 526 | 305 | — 221 |
| Draguignan. | 1884 | 611 | 424 | — 187 |
| Marseille.... | 1881 | 323 | 222 | — 101 |
| Nice..... | 1887 | 532 | 227 | — 305 |

⁽¹⁾ A. TARRADE. *Annuaire de la Société météorologique de France*, 2^e fascicule 1921, t. LXX, p. 1-97, 65 tableaux, 4 planches.

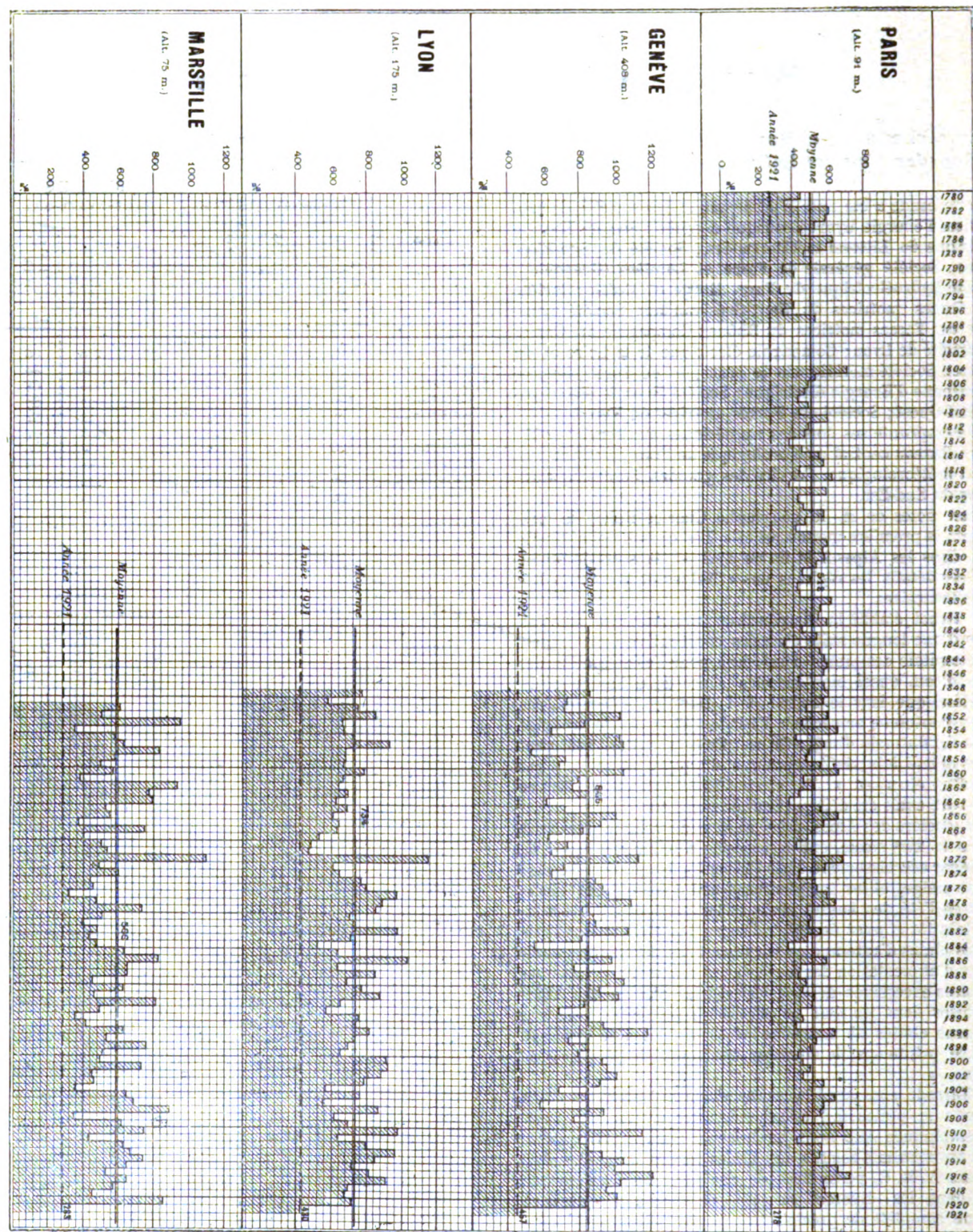


PLANCHE I. — Graphiques des hauteurs de pluies totales annuelles,

des lacs. Les nappes aquifères qui, de mars à octobre, alimentent les cours d'eau de plaine, n'ont comporté, après l'hiver déjà sec de 1920, qu'une réserve d'eau très faible ;

d'où l'étiage exceptionnellement bas des sources. L'insuffisance des pluies et l'accroissement de l'évaporation avec la température causent une baisse tout à fait anormale des ni-

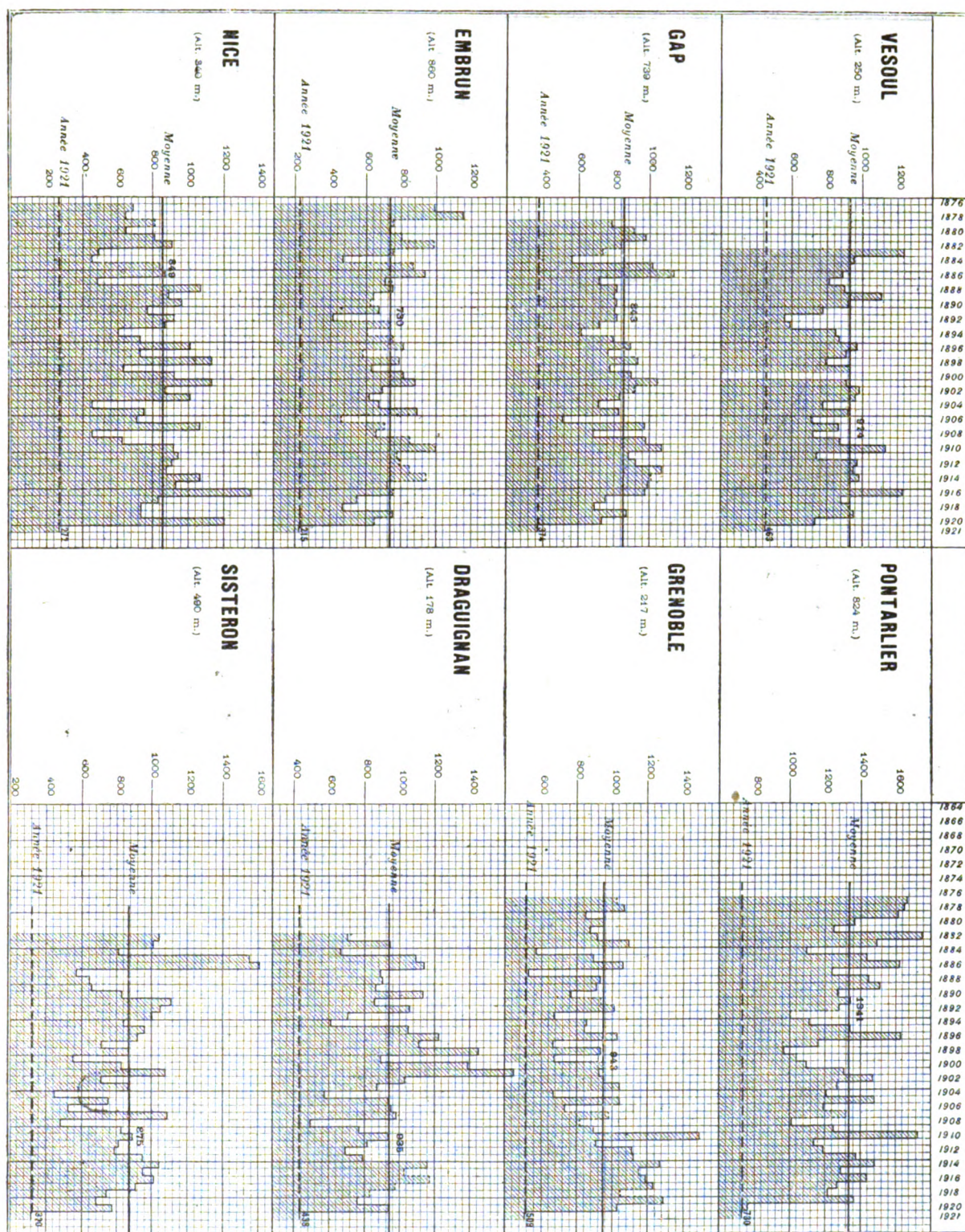
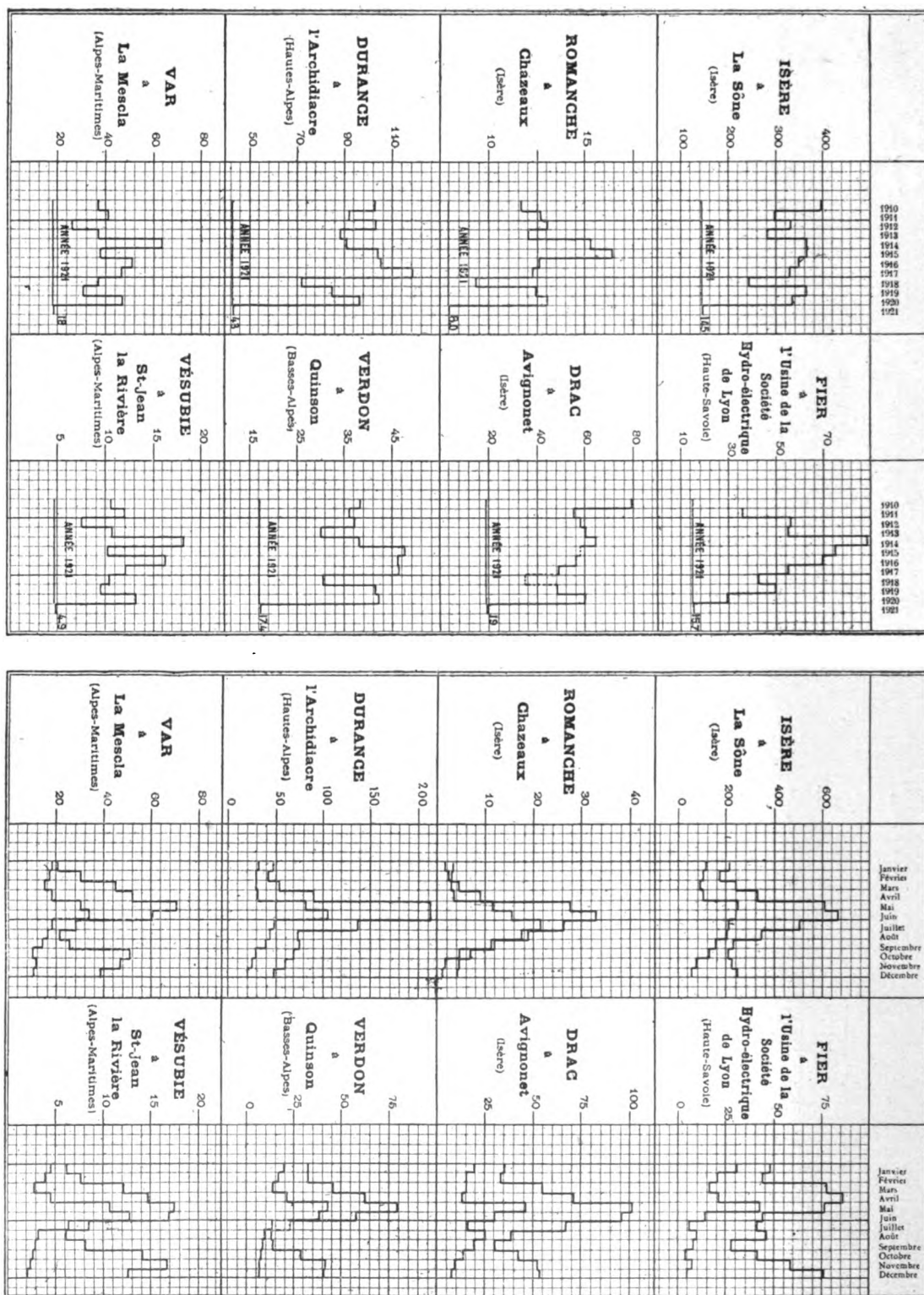


PLANCHE II. — Graphiques des hauteurs de pluies totales annuelles.

veaux des lacs. Le lac Léman, le lac de Neuchâtel s'abaissent jusqu'à 3 m au-dessous de l'étiage habituel ; le lac de Joux, dont le niveau moyen est à la cote 1009 m, descend au-

dessous de 1003 ; le lac de Bret était à sec dès octobre 1921 ; le lac de Châlin, qui sert à régulariser le débit de l'Ain, ne se remplit pas une seule fois ; en décembre 1921, il est par-



PLANCHES III ET IV. — Graphiques des débits moyens mensuels (en m³:s). — (Le trait supérieur des graphiques planche III correspond aux moyennes des années 1910-1920. Le trait inférieur correspond à la moyenne de l'année 1921.)

fois nécessaire de fermer les vannes du Thiou, pour économiser les eaux du lac d'Annecy ; les apports, aux usines, du lac d'Aiguebette, sont neuf fois moindres qu'au cours

d'une année normale ; situation analogue au lac de Laffrey ; à 2237 m d'altitude, le niveau du lac d'Allos s'abaisse de plus de 6 m ; les trois sources du Var, à Estaing, sont tarées.

Les usines et les populations de Lyon, Grenoble, Saint-Etienne, Rive-de-Gier, Unieux, Saint-Chamond, Chambon, Ricamarie, Fraisses, manquent d'eau.

La Haute-Italie n'est pas plus épargnée que la France Sud-Est.

Nous extrayons du chapitre consacré au « Débit des rivières » les graphiques Pl III et Pl IV respectivement relatifs aux débits annuels et aux débits mensuels. Il y a lieu de remarquer que les débits sont des débits *moyens* annuels ou mensuels et par conséquent supérieurs aux débits réels d'étiage ; ces derniers n'atteignent parfois que les cinquante centièmes des débits moyens.

La conclusion de M. Tarrade est que la sécheresse des années 1920-1921 constitue un événement tout à fait exceptionnel et unique dans les annales météorologiques. — J. R.

Les enroulements d'induits des machines à courant continu ⁽¹⁾.

L'auteur rappelle brièvement les machines à enroulements ouverts, du type Brush, par exemple, mais mentionne qu'il ne sont plus employés, sauf, peut-être, pour l'enroulement de certains induits des magnétos destinées aux appareils de mesures d'isolement. Il en est de même pour l'enroulement en anneau qui a fait place à l'enroulement en tambour denté utilisé maintenant pour toutes les grandeurs de machines. La figure 1_a montre l'enroulement avec une seule spire par section, alors que la figure 1_b montre l'enroulement à plusieurs



FIG. 1 (a).

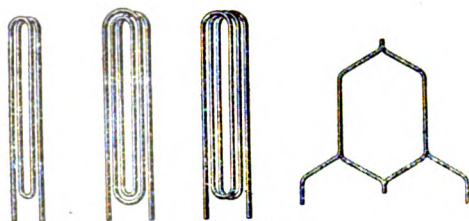


FIG. 1 (b).

spires qui peut être également exécuté comme le montre la figure 2 ; ce dernier mode d'enroulement procure une rigidité parfaite des parties des bobines placées en dehors du fer. Les encoches dans lesquelles sont placées les enroulements sont de dimensions différentes suivant la grandeur des machines ; en général, il y a avantage à augmenter les dimensions de ces encoches, mais on est limité dans cette direction par la difficulté d'obtenir une commutation satisfaisante de toutes les sections placées dans la même encoche et l'auteur donne un tableau des nombres d'encoches à adopter par pôle en fonction de la puissance à 1 000 t/mn.

Pour les machines tournant à grande vitesse, le nombre

⁽¹⁾ H.-E. DANCE. *Journal I. E. E.*, décembre 1911, t. LX, p. 51-57, 5 500 mots.

de sections qu'il est possible de placer est souvent petit et il peut en résulter des difficultés de commutation ; pour les machines shunt, il est bon de ne pas dépasser 15 v entre deux lames du collecteur, tandis que cette tension peut être augmen-

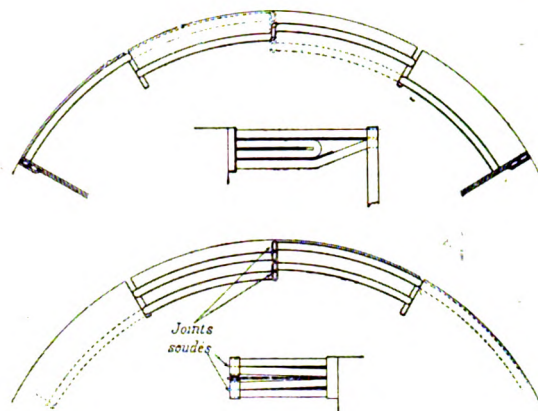


Fig. 2.

tée jusque 17 à 18 v pour les machines compound, jusque 25 v pour les machines à pôles auxiliaires et à 30 v pour les machines à enroulements de compensation. Un facteur également important est la tension de réactance qui dépend de l'induc-

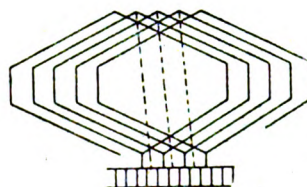


Fig. 3.

tance de la bobine en commutation, de la durée de cette commutation et du courant commuté ; pour les machines sans pôles auxiliaires, la tension de réactance doit être calculée avec soin. Les enroulements à pas réduits ont l'avantage de

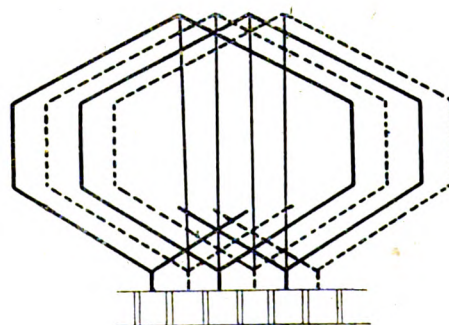


Fig. 4.

diminuer la réaction d'induit, ils ne peuvent être utilisés que pour les machines sans pôles auxiliaires. Pour les machines dans lesquelles la tension par spire est très grande, il est difficile d'obtenir une commutation parfaite ; aussi a-t-on

tenté d'augmenter le nombre de segments du collecteur, les lames supplémentaires étant reliées en certains points de l'enroulement convenablement choisis; les figures 3, 4, 5 et 6 montrent comment cette condition peut être réalisée. Le nombre de pôles à adopter pour une machine donnée est dé-

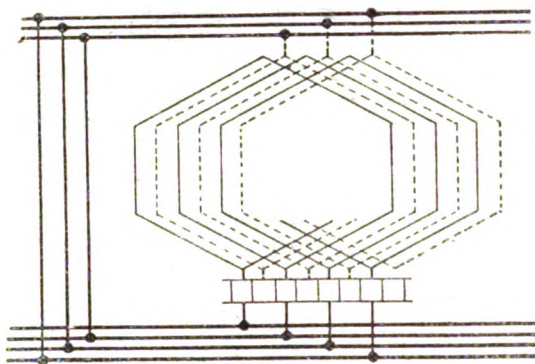


Fig. 5.

terminé par la condition de ne pas dépasser une intensité de 500 à 1 000 A par ligne de balais; cette condition, jointe à la tension limite par spire, détermine à peu près complètement les dimensions à adopter. Lorsque la machine, munie d'un enroulement en parallèle, est exécutée pour un nombre de

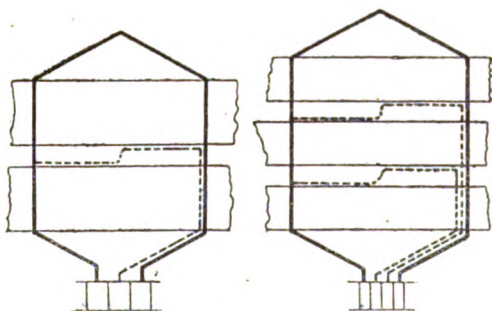


Fig. 6.

pôles supérieur à deux, il est indispensable de relier entre eux tous les points du collecteur qui doivent être au même potentiel; cette précaution permet de supprimer les courants d'équilibre, qui autrement passent par les balais et les connexions entre tiges porte-balais de même nom.

E. B.

Nouvelle pompe moléculaire.

A la séance du 17 mars 1922, de la Société française de Physique, M. Holweck, en présentant cette nouvelle pompe, la décrivait comme il suit :

Cette pompe consiste en principe en un tube enroulé en hélice et dont les parois sont formées de deux parties : une partie fixe constituée par un filet hélicoïdal creusé dans un stator cylindrique épais, et une partie mobile, se déplaçant à grande vitesse, constituée par un rotor cylindrique tournant à l'intérieur du stator en ne laissant qu'un très petit jeu.

Pour un sens de rotation convenable et bien que la vitesse linéaire du rotor soit faible devant celle des molé-

cules gazeuses (40 m : s devant 500 m : s environ), celles-ci sont entraînées par les chocs successifs contre le rotor et cheminent le long de l'hélice pour être finalement évacuées dans une pompe préparatoire.

Pour la commodité de la construction, deux systèmes hélicoïdaux à pas contraires, fonctionnant en parallèle, ont été creusés dans le stator, les filets se réunissant au milieu dans un gros canal d'aspiration. Le rotor est un cylindre de duralumin lisse, porté par des roulements à billes et entraîné, sans lien mécanique, par un petit moteur asynchrone dont le rotor est dans le vide préparatoire et le stator dans l'air. Une cloche étanche, en métal résistant, mince, qui ne consomme, par courants de Foucault, que quelques watts, sépare le stator du rotor en passant par l'entrefer. Ce dispositif d'entraînement s'est montré excellent. La puissance nécessaire pour faire tourner la pompe à 4 000 t : mn est de 10 w.

Dans le modèle présenté à la séance, le diamètre du rotor était 16 cm, sa longueur 20 cm; le nombre des spires de l'hélice de chaque côté du tube d'aspiration était de 9. La pompe tournant à 3 500 t : mn avec un vide préparatoire de l'ordre de 1 mm de mercure fait passer la pression du gaz contenu dans un récipient de 5 litres de 1 mm de mercure à 10^{-4} mm en dix secondes. Le vide limite donné par cet instrument, mesuré au manomètre absolu, est de 10^{-5} à 10^{-6} mm de mercure, avec un bon vide préparatoire.

Détermination a priori, par le calcul des pertes de chaleur dans les fours électriques ⁽¹⁾.

La détermination a priori, par le calcul, des pertes de chaleur dans les fours électriques, offre cet avantage précieux qu'elle permet de mettre en évidence l'influence individuelle des différents facteurs sous la dépendance desquels se produit le phénomène considéré.

Prenant comme base un mémoire de P. Rosin sur ce sujet, paru en 1920 dans « Metall und Erz », l'auteur discute successivement chacun des éléments constituant la formule

$Q = \frac{F}{d} K (T_1 - T_2) t$ qui représente la perte de chaleur dans le cas général.

$\frac{F}{d}$, dénommé facteur géométrique, est égal au quotient de la surface de la maçonnerie à travers laquelle s'effectue la transmission de chaleur F par l'épaisseur de cette dernière, d ; K est le facteur matière, dénotant la quantité de chaleur traversant 1 m³ de maçonnerie sous une différence de température de 1°C; $T_1 - T_2$ est le facteur de température, correspondant à la différence entre les températures des surfaces intérieures et extérieures du four; t est le facteur de temps désignant la durée du processus auquel est soumis la matière traitée dans le four, rapportée à l'unité de poids de la charge.

L'étude critique de ces divers facteurs conduit à un certain nombre de résultats intéressants; à signaler, notamment, ceux relatifs à l'influence de la forme du four, à celle exercée par un revêtement calorifuge et par un matelas d'air ménagé entre la maçonnerie et ledit revêtement, par le réchauffage de la surface extérieure du four, par l'importance de la charge traitée dans l'unité de temps, etc. Un exemple d'application de la formule est donné en vue de montrer la concordance entre le chiffre de pertes ainsi obtenu et celui observé à l'aide de mesures directes. — L. D.

(1) L. FARRICH. *Elektrotechnik und Maschinenbau*, 4 décembre 1921, t. XXXIX, p. 597-599, 3 000 mots.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Le mécanisme des assurances sociales

Projet de loi du 22 mars 1921

L'auteur étudie le mécanisme du projet de loi sur les assurances sociales, déposé par le Gouvernement le 22 mars 1921, et qui a déjà fait l'objet de critiques nombreuses. Il reprend ces critiques, notamment celles exposées par M. Vourloud, de la Chambre de Commerce de Lyon et par M. R. Doucet, directeur du « Monde économique », exposant que les circonstances sont peu favorables à son adoption, que la charge financière en serait considérable, et que l'intervention de l'Etat y apparaît excessive.

Le projet sur les assurances sociales, déposé il y a plus d'un an, a déjà fait couler tant d'encre, qu'il semble présomptueux de chercher à émettre à ce sujet des idées vraiment nouvelles. Aussi bien notre ambition est-elle très modeste. Nous ne voudrions qu'exposer pratiquement le mécanisme du projet et résumer ensuite les critiques les plus caractéristiques qu'ont exposées déjà les juristes, les chambres de commerce et les économistes.

I. Mécanisme du système. — Le projet englobe les différents risques du travail : maladie, invalidité, vieillesse, décès. Il couvre aussi les charges de famille sous formes d'allocations à la naissance, de primes d'allaitement et de secours d'accouchement. De plus, toutes les allocations et pensions attribuées aux malades, aux invalides, aux vieillards, sont bonifiées lorsque les intéressés ont des enfants de moins de seize ans (voir étude du *Monde économique*, numéro d'avril 1921, page 1581).

Les assurés se divisent en deux classes : assurés obligatoires, assurés facultatifs.

Sont assurés obligatoires tous les salariés et métayers français, de l'un et l'autre sexe, dont la rémunération ou le revenu n'excède pas 10 000 fr par an.

Peuvent entrer dans l'assurance : les fermiers, cultivateurs et petits patrons âgés de moins de trente ans, à condition que leur revenu annuel ne soit pas supérieur à 10 000 fr, ainsi que les anciens assurés obligatoires ou facultatifs.

L'assurance est alimentée par des versements des assurés, des employeurs et de l'Etat.

Les assurés sont rangés en six catégories : 1° ceux dont le salaire annuel est inférieur à 1 200 fr ; 2° ceux qui ont un salaire de 1 200 à 2 400 fr ; 3° ceux dont le salaire va de 2 400 à 4 000 fr ; 4° ceux qui ont un salaire de 4 000 à 6 000 fr ; 5° salaires de 6 000 à 8 000 fr ; 6° salaires de 8 000 à 10 000 fr.

Les cotisations, qui sont dues par les employés et les employeurs, sont fixées à 5 pour 100 du salaire

moyen de chaque classe, soit 45 fr, 90 fr ; 160 fr ; 250 fr, 350 fr ; 450 fr. La cotisation est prélevée par le patron sur le salaire de l'ouvrier et versée par lui à la caisse d'assurance, avec sa cotisation personnelle.

Les assurés doivent requérir leur immatriculation et la délivrance de leur livret d'assurance sociale.

Les employeurs doivent adresser régulièrement un état de leur personnel, assujéti à l'assurance, et opérer les versements réglementaires.

En cas de maladie ou d'invalidité, les assurés ont droit : a) aux soins médicaux, chirurgicaux, traitements spéciaux, médicaments ; b) à une allocation journalière égale à la moitié du salaire de l'assuré pendant six mois. Les allocations sont transformées en une allocation mensuelle, pendant les cinq années qui suivent et, au bout de ces cinq ans et demi, en une pension d'invalidité accordée pendant toute la durée de l'incapacité de travail. Suivant la classe à laquelle appartient l'assuré, les allocations journalières varient de 1,50 fr à 15 fr, les allocations mensuelles de 45 à 250 fr, les pensions de 500 à 3 000 fr.

En cas d'accouchement, les assurées ont droit : a) aux soins médicaux et chirurgicaux, aux médicaments ; b) à une allocation journalière d'accouchement variant de 1,50 fr à 15 fr, pendant six semaines avant et six semaines après les couches ; c) à une allocation mensuelle d'allaitement pendant un an, variant de 15 à 60 fr.

En outre : pension à soixante ans, dont le minimum garanti varie, suivant les classes, entre 500 et 3 000 fr.

Versement d'une allocation à la famille variant de 150 à 1 500 fr.

Pour chaque naissance d'enfant, les assurés ont droit à une allocation familiale de 200 fr, dont 100 fr à la naissance, 50 fr à la fin du sixième mois, et 50 fr à la fin du douzième mois. Cette allocation est doublée, si les père et mère sont l'un et l'autre assurés.

Les assurés ont droit, s'ils ont à leur charge des enfants de moins de seize ans, à une majoration fixée, par tête d'enfant, à 0,50 fr pour l'allocation journalière

de maladie, à 10 fr pour l'allocation mensuelle, à 100 fr pour la pension d'invalidité, et l'allocation au décès. Le conjoint et les enfants de moins de seize ans de l'assuré ont droit, sans cotisation supplémentaire, aux secours médicaux, chirurgicaux, pharmaceutiques.

Le service de l'assurance est confié à des caisses régionales, administrées par un conseil composé de représentants élus des assurés, des employeurs et de représentants des intérêts généraux.

Dans chaque région, fonctionnera un office d'assurances sociales chargé d'assurer et de contrôler l'application de la loi.

Dans chaque arrondissement et au chef-lieu de chaque région, se trouveront des conseils de contentieux.

Enfin, un conseil supérieur de contentieux sera chargé de l'unification de la jurisprudence.

L'Etat assurera à son compte en totalité ; les frais de gestion des caisses et offices d'assurances ; les prestations attribuées pour charges de famille. Il participera aux charges de l'assurance-invalidité ; aux charges de l'assurance-vieillesse, aux charges de la liquidation de la loi du 5 avril 1910 sur les retraites ouvrières ; à la construction des établissements de cure et de prévention.

L'application de la loi entraînerait une dépense de 378 millions de francs dès la première année, pour atteindre 578 millions de francs la onzième année et redescendre à 425 millions de francs la quarante-cinquième année. Mais il convient de déduire, de cette somme les sommes qui eussent dû être inscrites au budget pour l'application de la loi sur les retraites ouvrières. De plus, on estime à 50 millions de francs les économies qui résulteraient de l'application de la loi au titre de l'assistance aux vieillards, infirmes et incurables de l'assistance médicale gratuite et de l'assistance des femmes en couches. Toutes les lois fragmentaires d'assistance vont se trouver englobées dans le nouveau projet. Cette dépense ne concerne que la part de l'Etat.

II. Critiques du système. — A. CETTE LOI CONSTITUERAIT UNE NOUVELLE CAUSE DE LA CHERTÉ DE LA VIE. — La cotisation annuelle, équivalant à 10 pour 100 des salaires (5 pour 100 à la charge de l'employé et 5 pour 100 à la charge du patron) aboutira à augmenter artificiellement et d'autorité tous les salaires de 10 pour 100, ce qui aura les plus dangereuses répercussions sur le coût de production, donc sur les prix.

Voici en quels termes s'exprime, à ce sujet, M. Robert Doucet, dans le « Monde économique, 1921, p. 446 : « On sait parfaitement que les ouvriers, qui refusent de payer l'impôt direct, ne consentiront pas davantage à payer un centime pour une caisse d'assurances. Si la loi est appliquée, on assistera fatalement aux faits suivants : les ouvriers protesteront violemment contre la contribution qui leur sera réclamée ; ils exigeront et obtiendront une augmentation de salaire de 5 pour 100, puis, ils se garderont de payer leur con-

tribution et on ne la leur réclamera pas plus qu'on ne leur réclame l'impôt sur le revenu. Pendant ce temps-là, l'employeur versera ponctuellement ses 5 pour 100 et, non moins ponctuellement, il les récupérera sur ses clients, avec une majoration correspondant à l'intérêt de ses avances, aux nouveaux frais de paperasseries qu'il aura à supporter, etc. Il recouvrera, de la même façon, les 5 pour 100 de salaires supplémentaires. Finalement le consommateur paiera, sans pouvoir, lui, les récupérer sur personne, 10 à 11 pour 100 des salaires payés par le producteur des matières premières, 10 à 11 pour 100 des salaires payés par le manufacturier, 10 à 11 pour 100 des salaires payés par chacun des intermédiaires et l'auteur ajoute : « nos difficultés sont bien loin d'avoir toutes leur origine dans la guerre ».

B. LE PROJET FAIT DU PATRON UN COLLECTEUR D'IMPÔTS, puisque, ainsi que nous l'observons plus haut, la cotisation est prélevée par le patron sur le salaire de l'ouvrier et versée par lui à la caisse d'assurance, avec sa cotisation personnelle.

C. AVEC CE PROJET, NOUS ARRIVERIONS RAPIDEMENT À L'ÉTABLISSEMENT DE SERVICES MÉDICAUX ET PHARMACEUTIQUES PUBLICS, aux médecins-fonctionnaires et à l'Etat pharmacien. Or, dit M. Doucet, dans l'étude précitée, le corps médical qui, dans son ensemble « n'est pas précisément souple, se laissera-t-il embrigader ? les pharmaciens consentiront-ils à devenir des fonctionnaires, à tenir des comptabilités chinoises et à subir d'obsédants contrôles ? L'Etat s'est-il montré si bon marchand de blé, de sucre et de mille autres choses, qu'il faille lui concéder à perpétuité la haute main sur le commerce des produits pharmaceutiques ».

D. CETTE RÉFORME NOUS MÈNE EN PLEIN INCONNU, PARCE QU'IL EST IMPOSSIBLE DE PRÉVOIR CE QU'ELLE COUTERA. Il existe des tables de mortalité, permettant de chiffrer avec quelque vraisemblance les frais d'assurance en cas de décès. Mais sur quoi s'appuie-t-on pour prévoir les risques de maternités, de charges de famille, de vieillesse, de maladie et d'invalidité ?

Ce qu'il faut prévoir, sans chance d'erreur, c'est la création d'innombrables nouveaux fonctionnaires et, peut-être, la création d'un ministère ou d'un sous-secrétariat d'Etat. On objecte, dit M. Doucet, dans l'article précité, que la loi nouvelle absorbera celle des retraites ouvrières et paysannes et que cette dernière loi, si elle était appliquée, reviendrait à elle seule, aussi cher que les assurances sociales ! Et il répond : « Ce n'est pas parce que les retraites ouvrières sont déjà onéreuses, qu'il ne faut pas s'effrayer de voir grossir, dans d'énormes proportions, le prix de ces dépenses. Et si les retraites ouvrières exigent moins de crédit qu'elles pourraient en exiger, cela prouve que le mépris général pour l'obligation inscrite dans la loi du 5 avril 1910 nous montre que les ouvriers de ce côté-ci du Rhin ne sont pas mûrs pour les sujétions légales ; ensuite, ce mépris a obéré nos budgets, depuis

onze ans, d'un certain nombre de centaines de millions de francs qu'il n'était pas indispensable de volatiliser ».

E. LA LOI NOUVELLE RENCONTRE L'OPPOSITION DE LA PRESQUE UNANIMITE DES SYNDICATS PATRONAUX, DE NOMBREUX OUVRIERS ET DES MUTUALISTES. — « La loi nouvelle, dit M. Doucet (article précité), rencontre l'opposition de la majorité des ouvriers, parmi lesquels renaît spontanément l'esprit d'indépendance et l'horreur de toute obligation, et qui ne veut pas entendre parler de l'intrusion de la loi dans la destination qu'il donne à son salaire. Les uns, les pondérés et les sages, ne comptent que sur eux-mêmes pour améliorer leur sort ; les autres, les révolutionnaires, ne demandent pas mieux que de recevoir, mais ils se refuseront obstinément à contribuer ».

Il existe enfin d'autres protestataires, les mutualistes, qui ont organisé eux-mêmes les institutions de prévoyance, qui leur conviennent, et n'admettent pas que leurs sociétés soient bouleversées.

F. RAPPORT-CRITIQUE DE M. VOURLOND DE LA CHAMBRE DE COMMERCE DE LYON. — M. Vourloud reproche surtout au projet de constituer un acte d'étatisme menaçant pour l'économie industrielle et commerciale.

En effet, remarque-t-il, sous des dehors, auxquels les auteurs du projet s'appliquent à donner une certaine apparence libérale, partout on sent l'intervention de l'Etat, qui apparaît avec toutes les conséquences de l'étatisme.

Les objections au projet n'ont pas manqué ; en premier lieu, celles des principaux intéressés, les patrons et les ouvriers.

Les ouvriers considèrent qu'une retenue sera faite sur leur salaire ; mais ils n'insistent pas trop, parce qu'ils savent bien qu'ils auront toujours la ressource de se retourner contre le patron pour réclamer, et, au besoin, exiger une compensation.

Quant au patron qui a, lui, la certitude d'avoir à supporter une grande partie du poids, sinon tout le poids de la réforme, ce n'est pas sans grande méfiance et une vive appréhension qu'il voit intervenir l'Etat, avec un cortège d'innombrables employés et toute une complication de formalités administratives ; ce n'est pas sans inquiétude qu'il pense que son prix de revient s'augmentera, non seulement de la charge qui lui sera directement imposée, mais encore du fait de la répercussion de la loi sur le prix de toutes ses matières premières ; lui rendant la lutte difficile, et parfois même impossible, avec la concurrence sur les marchés étrangers.

Le coût de la vie s'élèvera nécessairement, de combien ? Il est difficile de le dire, car les évaluations diffèrent sensiblement ; il est à craindre toutefois, que notre commerce d'exportation n'ait sérieusement à en souffrir.

Par ailleurs, il est à remarquer que les diverses industries, si elles sont soumises à un régime égalitaire, se trouveront très inégalement frappées. Telle

industrie qui n'emploie qu'une faible main-d'œuvre et qui a une marge de bénéfice assez large, supportera plus facilement le versement imposé sur les salaires, que telle autre qui emploie un grand nombre d'ouvriers et qui ne réalise qu'un gain modeste. Nous en connaissons, dont l'existence serait ainsi mise en péril. On voit déjà le danger d'un coefficient uniforme, et la nécessité de classer les industries par catégories.

De leur côté, les mutualistes reprochent au projet d'anéantir l'œuvre qu'ils poursuivent depuis de longues années, et d'annihiler les efforts qu'ils ont faits pour inculquer aux salariés des principes d'ordre et de prévoyance.

Enfin, et ce n'est pas l'objection la moins grave, personne ne peut prévoir la conséquence de la réforme sur les finances publiques. L'Etat, peut, en fin de compte, être obligé d'intervenir, dans des proportions, qui ne peuvent être déterminées, au moment où ses finances traversent une crise redoutable et où l'équilibre du budget est un problème difficile à résoudre. Les auteurs du projet eux-mêmes reconnaissent que l'assurance des assurés facultatifs, qui est cependant prévue, présente un formidable aléa.

N'oublions pas que l'Etat est obligé de recourir chaque année à l'emprunt et que l'industrie doit soutenir une lutte difficile contre les nations dont la monnaie est dépréciée, lutte qui devient tous les jours plus âpre et qui menace de devenir désastreuse pour les autres nations.

Est-ce à dire qu'il n'y a rien à faire et qu'on doit s'abstenir de toute réforme dans le sens indiqué.

Ce n'est pas notre avis, mais nous estimons que les circonstances ne sont pas favorables pour entraîner l'Etat dans une entreprise, dont on ne peut calculer toutes les conséquences, et pour demander à l'industrie un effort, qui doit se chiffrer par un débours de plusieurs milliards de francs par an.

Pourquoi instituer, dit M. Vourloud, des offices d'assurances superposés aux caisses régionales, qui vont augmenter dans une très forte proportion le nombre des fonctionnaires exigés par l'application du projet de loi ? Il est bien certain que, dans ces conditions, les frais d'administration absorberont la plus grande partie des ressources de l'assurance. Nul doute que l'initiative privée ne puisse arriver au même résultat avec beaucoup moins de frais. On est confirmé dans cette idée par la lecture d'un rapport des groupements d'industriels d'Alsace et de Lorraine, qui compare le projet français à la législation actuellement en vigueur en Alsace-Lorraine, et qui fait ressortir que, d'une enquête faite dans l'industrie textile, il résulte qu'une cotisation de 4,74 pour 100 des salaires suffit pour couvrir complètement les risques de maladie, invalidité et vieillesse. Il est donc certain, et l'expérience le prouve, qu'on peut faire à beaucoup moins de frais ce que se propose le projet en discussion.

Il faut ajouter aussi que vouloir assurer d'un seul coup tous les risques à la fois : maladie, invalidité,

maternité et vieillesse, est une entreprise formidable, dont on peut avec raison être effrayé, et qu'il serait plus sage, comme le font très justement remarquer les industriels alsaciens-lorrains, de ne procéder que par étapes successives et de n'assurer un nouveau risque qu'après un temps suffisant pour se rendre compte du résultat obtenu par l'application de l'assurance au risque précédent.

Les critiques du projet pourraient être bien plus nombreuses encore, surtout si on voulait entrer dans les détails. Nous nous bornerons à faire remarquer qu'il est absolument injuste de n'admettre que pour un quart les patrons dans les conseils d'administration des différentes caisses, alors qu'ils participent pour moitié dans les versements.

Cependant l'idée, qui a inspiré le projet, est juste ; il est équitable de faciliter à l'ouvrier les moyens de se garantir contre la maladie et l'invalidité, qui introduisent la misère à son foyer ; il est nécessaire de le mettre à l'abri du besoin, lorsque l'âge et les infirmités ne lui permettront plus de gagner sa vie. Comme toutes les idées justes, celle-là fera son chemin ; nous en avons un exemple récent dans l'institution des caisses d'allocations familiales, qui ont été créées sans l'intervention de l'Etat, et qui fonctionnent dans un grand nombre de centres industriels à la satisfaction des intéressés.

Il existe de nombreuses sociétés de secours mutuels et il est bien peu d'entreprises un peu importantes qui ne possèdent une caisse de secours. Lorsque les circonstances se présenteront d'une manière plus opportune pour engager une réforme de l'ampleur de celle envisagée, les unes et les autres pourraient être utilisées pour remplir les fonctions que le projet remet à des organismes compliqués et dispendieux. Les caisses de secours ont fait leurs preuves ; elles gèrent leur patrimoine avec prudence et économie. On a ainsi sous la main, prêts à être utilisés, des organes d'une grande souplesse qui pourraient très rapidement entreprendre la réforme. La plupart d'entre elles assurent déjà les risques « maladie » et « vieillesse ». Rien ne s'opposerait à ce que l'on étendit successivement et progressivement leur action à tous les risques prévus au projet de loi et qu'on augmentât leur nombre, s'il était suffisant.

Elles s'administreraient elles-mêmes et pourraient s'unir pour former des caisses de garantie ou de réassurance pour les cas exceptionnels d'épidémie, de catastrophe, etc...

Il est vrai que le projet admet l'utilisation des caisses de secours mutuels, des caisses patronales et syndicales, mais sans leur laisser une indépendance suffisante, et en les obligeant à contribuer aux versements, si bien qu'elles seront peu intéressées à la bonne gestion de leurs fonds.

L'Etat ne doit intervenir que pour couvrir les dépenses d'administration des différentes caisses, ce qu'il

pourra faire sans assumer de nouvelles charges, puisque l'application de la réforme le dégagera de celles que lui imposent les lois d'assistance, en particulier la loi d'assistance aux vieillards, infirmes et incurables. La participation de l'Etat serait forfaitaire, afin de réduire au minimum les nécessités de contrôle et d'ingérence administrative ; cette participation lui donnera un droit de regard, qui lui permettra de faire contrôler la gestion des différentes caisses par ses inspecteurs, comme cela a été fait déjà pour les sociétés d'assurance sur la vie ; mais là doit se borner son action.

On pourrait alors admettre le principe de l'obligation, car l'homme robuste et bien portant se préoccupe peu de la maladie, qui peut le frapper un jour et, pour l'homme jeune, la vieillesse est trop lointaine pour le décider à s'imposer un sacrifice quotidien, qui ne doit lui profiter que dans un avenir qu'il considère comme très éloigné.

III. Résumé et conclusions. — Tout le monde est d'accord sur le caractère judicieux et humanitaire du projet dans son principe, mais les milieux commerciaux et industriels, d'accord avec les économistes libéraux, semblent craindre :

- 1° Son inopportunité ;
- 2° Son prix de revient ;
- 3° Son application ;
- 4° Son caractère d'interventionnisme étatique.

Certaines chambres de commerce, et notamment celle de Lyon, proposent d'y substituer un projet ayant pour but d'admettre : l'obligation réciproque et sous la condition que les instruments d'application de la loi seront exclusivement les seules caisses de secours mutuels et caisses particulières fonctionnant dans les diverses entreprises, qui continueront à s'administrer elles-mêmes, en dehors de toute ingérence gouvernementale ; le projet devrait procéder par étapes, en commençant par assurer le risque de maladie et successivement les autres risques : invalidité, maternité et vieillesse, avec un intervalle, entre chaque risque, suffisant pour qu'on puisse se rendre compte des conséquences qui pourront découler de l'application de chacune de ces assurances.

D'autre part l'Etat, dégagé des charges que lui imposent les lois d'assistance aux vieillards indigents, infirmes ou incurables, accorderait une indemnité forfaitaire aux différentes caisses pour couvrir les frais d'administration, mais sans intervenir dans leur gestion autrement que par un simple contrôle.

Enfin la prime d'assurance serait diminuée et réduite au minimum ; elle ne serait pas uniforme pour toutes les industries, mais proportionnelle au rapport entre la dépense en main-d'œuvre et le bénéfice net réalisé.

Tel est, avant que la discussion ne soit ouverte au Parlement, l'état actuel de la grave question soumise à l'opinion publique.

FERNAND-JACQ.

Docteur en droit.

Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Proposition de loi sur la cession du service téléphonique à une société privée.

Le « Journal officiel » du 16 avril 1922 publie, page 110 et 111 des « Documents parlementaires, Chambre », l'exposé des motifs et le texte d'une proposition de loi déposée à la séance du 4 novembre 1921 de la Chambre des Députés par M. Louis Deschamps, député, et près de 400 de ses collègues. Nous reproduisons ci-dessous ces documents :

EXPOSÉ DES MOTIFS. — La situation de notre réseau téléphonique français est inférieure actuellement à celle de presque tous les pays du monde. La proportion des abonnés représente en France 1 abonné pour 143 habitants, tandis qu'elle est en Angleterre de 1 abonné pour 64 habitants, en Allemagne de 1 pour 59 habitants, aux Etats-Unis de 1 pour 8 habitants.

Si les communications téléphoniques urbaines sont très médiocres, les communications interurbaines sont absolument déplorables. Plusieurs heures d'attente sont nécessaires pour communiquer entre les plus grandes villes de France, et notre commerce, comme notre industrie, en éprouvent les plus grands dommages.

Le mauvais fonctionnement du service ne tient nullement, comme on le croit trop souvent, à une mauvaise volonté du personnel : mais son dévouement ne lui permet pas de remédier à la vétusté et à l'insuffisance des moyens mis à sa disposition.

Si l'on veut que le téléphone marche bien en France, il faut consentir un effort considérable pour améliorer le matériel.

C'est dans ce but que, le 18 mai 1920, a été déposé devant le Parlement un projet de loi aux termes duquel 1 500 millions de francs étaient demandés pour la réfection de notre réseau téléphonique, somme manifestement insuffisante, car, de l'avis des techniciens, 2 milliards de francs au moins seraient nécessaires pour doter notre pays des grands câbles interurbains et des appareils automatiques que les Etats-Unis possèdent depuis longtemps déjà.

Or, comment l'Etat pourrait-il se procurer ces ressources dans la situation actuelle de notre budget ? Comment pourrait-on songer sérieusement à obtenir du Trésor des sommes aussi formidables ?

Et, pourtant, la renaissance de la vie économique du pays est liée de la façon la plus intime au développement des moyens de communication, parmi lesquels le téléphone joue un rôle essentiel.

D'autre part, en admettant que l'Etat pût se procurer les ressources nécessaires pour la réorganisation des téléphones, il serait incapable de l'accomplir par ses propres moyens, car le personnel technique dont il dispose serait insuffisant pour étudier et réaliser ensuite dans un bref délai la construction des nouveaux circuits.

Pour réaliser une telle tâche, une seule solution semble pouvoir être envisagée : charger une compagnie privée française d'exécuter dans un délai fixé tous les travaux nécessaires pour réorganiser complètement le téléphone en France et lui donner en échange l'exploitation pendant une période de temps — trente ans, au moins — de notre réseau téléphonique, avec une participation de l'Etat et du per-

sonnel aux bénéfices. Cette compagnie prendrait le matériel, les constructions de toutes sortes appartenant actuellement à l'Etat et lui verserait chaque année une part à déterminer dans les bénéfices. Il ne saurait être question, en effet, de réaliser un rachat dans le sens strict du terme et de demander à la compagnie de verser à l'Etat le prix de toutes ses organisations téléphoniques. Une condition aussi lourde, aussi onéreuse rendrait toute opération impossible.

La participation aux bénéfices comme conséquence du contrat intervenu ou comme rémunération des actions d'apport qui pourraient être remises à l'Etat constitue le seul mode de paiement qui semble pouvoir être retenu.

Une telle solution aurait le grand avantage d'alléger le budget ordinaire de plus de 200 millions de francs : car le déficit, par la seule exploitation du téléphone, est passé de 6 millions en 1917 à 60 millions de francs en 1919 et 200 millions de francs environ en 1920.

Et le déficit ne diminuera pas avant un certain nombre d'années : en réalité, pas avant la remise en l'état et l'exploitation industrialisée de notre réseau téléphonique.

Il s'agirait en somme de revenir provisoirement au régime qui dura de 1880 à 1889, période pendant laquelle fonctionna la Société des Téléphones, dont une loi décida le rachat, à raison des bénéfices très importants qu'elle avait réalisés.

Il est inutile de reprendre l'éternelle discussion entre les avantages réciproques des monopoles d'Etat et des industries privées. Il apparaît évident que l'Etat est incapable de faire l'effort financier et l'effort technique nécessaires pour donner à notre pays un réseau téléphonique digne de lui.

Or, la constitution immédiate de ce réseau est indispensable à notre relèvement. C'est pourquoi il faut envisager la seule solution qui paraisse possible et pratique, tant en raison de ses avantages financiers que de ses avantages économiques.

PROPOSITION DE LOI. — Le Gouvernement devra, dans un délai de trois mois, présenter aux Chambres un projet de convention aux termes de laquelle la réorganisation du réseau téléphonique sera confiée à une société privée française, qui obtiendra à des conditions déterminées, notamment le rachat à sa valeur actuelle du matériel existant, la participation de l'Etat et du personnel aux bénéfices, le maintien intégral des droits du personnel en service, l'exploitation pour une période de trente ans des réseaux téléphoniques français.

Loi relative au mode de calcul de l'impôt sur les chemins de fer d'intérêt général et les voies ferrées d'intérêt local.

Cette loi, en date du 12 avril 1922 est publiée au « Journal officiel » du 14 avril, page 3966 ; en voici le texte :

ARTICLE PREMIER. — Sur les chemins de fer d'intérêt général et les voies ferrées d'intérêt local, les impôts établis ou majorés par la loi du 29 juin 1918 s'appliqueront aux prix de transport résultant des tarifs homologués, sans porter sur les majorations temporaires autorisées en vertu des lois,

décrets et tous autres actes réglementaires en vigueur ou à intervenir.

Les impôts dont il s'agit sont fixés :

a) Pour les voies ferrées d'intérêt général, exploitées par les grands réseaux d'intérêt général ou concédées à l'un d'eux, à 31,25 pour 100 sur les prix des places de voyageurs et sur le prix de transport des finances, chiens et bagages (toutes taxes accessoires comprises), à 12,50 pour 100 sur le prix du transport des marchandises en grande et petite vitesse (toutes taxes accessoires comprises) ;

b) Pour les autres voies ferrées d'intérêt général ou d'intérêt local, à 12,50 pour 100 sur le prix des transports des voyageurs, finances, chiens et bagages, ainsi que des marchandises, grande et petite vitesse (toutes taxes accessoires comprises) ;

c) Sur tous les réseaux :

A 62,50 pour 100 en ce qui concerne les suppléments payés pour les places de luxe.

L'impôt de 12,50 pour 100 ci-dessus est réduit à 6,25 pour 100 pour les expéditions composées exclusivement :

1° En ce qui concerne la grande vitesse, des denrées dénommées à l'article 15 des conditions d'application du tarif général des grands réseaux.

2° En ce qui concerne la petite vitesse, de marchandises figurant à la 5^e ou à la 6^e série du tarif général des grands réseaux.

Les recettes provenant de la taxe d'enregistrement des marchandises pourront, à la demande des réseaux, être réparties entre le taux de 12,50 pour 100 et le taux de 6,25 pour 100, suivant une proportion forfaitaire établie d'après une ventilation à l'effectif, portant sur les produits d'un mois choisi de commun accord entre l'administration et le réseau intéressé. Cette ventilation à l'effectif sera renouvelée tous les trois ans.

Pourront, sur leur demande, être admises ou maintenues au droit fixe les concessions sur le réseau desquelles les tarifs en vigueur avant les relèvements autorisés par les lois des 30 novembre 1916 et 23 février 1918 ne prévoyaient pas de places d'un prix supérieur à 1 fr.

Sur les compagnies où n'existeraient pas de tarifs homologués, les tarifs à envisager pour le calcul de l'impôt sont ceux en vigueur avant la promulgation des lois des 30 novembre 1916 et 23 février 1918.

Les dispositions des articles 30 et 32 de la loi du 29 juin 1918 sont abrogées en ce qu'elles ont de contraire aux dispositions ci-dessus. »

ART. 3. — La présente loi entrera en vigueur quinze jours francs après sa publication au « Journal officiel. »

Fait à Fez, le 12 avril 1922.

Circulaire indiquant le mode de calcul de l'impôt sur les chemins de fer d'intérêt général et les voies ferrées d'intérêt local.

A la suite de la promulgation de la loi du 12 avril 1922 ⁽¹⁾ fixant ce mode de calcul, le ministre des Travaux publics a envoyé aux préfets la circulaire suivante publiée au « Journal officiel » du 15 avril 1922, p. 3998.

Cette loi, d'une part, modifie la quotité de l'impôt sur les taxes perçues pour les transports par chemins de fer et, d'autre part, en ce qui concerne particulièrement les voies ferrées d'intérêt local, elle spécifie que l'impôt sera calculé dorénavant non sur la totalité du prix de transport actuellement perçu, mais seulement sur les prix résultant des tarifs

en vigueur avant les majorations temporaires autorisées en vertu des lois des 30 novembre 1916 et 22 octobre 1919.

L'application de ces dispositions doit entraîner d'importantes modifications des prix à payer par le public sur les lignes d'intérêt local.

Je vous prie, en conséquence, de vous entendre avec le service du contrôle pour inviter les concessionnaires de lignes d'intérêt local de votre département à prendre d'urgence les mesures nécessaires pour mettre en vigueur, dès la date résultant du délai fixé par l'article 2 de la loi, les dispositions précitées.

Sur les dépenses engagées pendant la guerre par le Ministère des Travaux publics pour assurer la distribution de l'énergie électrique.

Le « Journal officiel » du 29 mars 1922 publie, page 1201 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

12050. — M. Peyreux, député, demande à M. le ministre des Travaux publics à combien se sont élevées les avances faites par l'État pendant la guerre aux sociétés distribuant l'énergie électrique pour leur permettre l'accroissement de leurs moyens de production, quels en ont été les bénéficiaires, combien chacune a touché, à quels travaux ces sommes ont été employées. (Question du 26 janvier 1922.)

2^e Réponse. — Aucune avance n'a été faite par le ministre des Travaux publics pendant la guerre aux sociétés de distribution d'énergie électrique en vue de l'accroissement de leurs moyens de production. Les seules dépenses que le Ministère des Travaux publics ait prises à sa charge sont celles qui avaient trait à la création d'installations provisoires, permettant d'alimenter en énergie électrique les régions libérées, en attendant la reconstitution des centrales de production. Ces dépenses n'ont, en général, pas le caractère d'avances, car les installations provisoires n'appartenaient pas au distributeur propriétaire de la centrale. Leur montant a été imputé sur le budget spécial des dépenses recouvrables sur les versements à recevoir en exécution du traité de paix. Ce n'est que dans le cas où ces installations pouvaient être incorporées dans le réseau définitif des sociétés de distribution, que les dépenses ont eu le caractère d'avances. Les sociétés ont alors souscrit à l'engagement de racheter dans un délai déterminé les installations provisoires édifiées.

Sur la perception de l'impôt sur les salaires par les patrons.

Le « Journal officiel » du 1^{er} mars 1922 publie, p. 581 des « Débats parlementaires, Chambres », la question et la réponse suivantes :

12291. — M. Grinda, député demande à M. le ministre des Finances si les percepteurs ont le droit de pratiquer des saisies-arrêts chez les chefs d'entreprise pour se faire attribuer les sommes dues par leurs ouvriers au titre de l'impôt sur les salaires, au cas où ceux-ci n'auraient pas acquitté ladite contribution. (Question du 7 février 1922.)

Réponse. — Le Trésor possède, de même que tout créancier, et sans qu'il soit besoin pour cela d'un texte spécial, le droit de saisir entre les mains d'un tiers et dans les limites fixées par la législation en vigueur, lorsqu'il s'agit de salaires ou traitements, les deniers dus à un de ses débiteurs. Il y a lieu d'ajouter que des instructions ont été données aux percepteurs pour les inviter à user de ménagements en faveur des cas vraiment intéressants.

(1) Voir ci-dessus page 679.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N^o 19.

13 MAI 1922.

Chronique. — A propos de la « Revision de quelques lois de l'électromagnétisme ». — Société française des Electriciens. — Bibliographie : Problèmes et exercices d'électricité générale, par Paul JANET; Album de plans de pose pour l'installation de la force par l'électricité, par H. DE GRAFFIGNY. — Annuaire 1922 de l'Union des Syndicats de l'Électricité, p. 681-682.

Section scientifique et technique. — Essai d'une théorie synthétique des machines électriques, par V. GENKIN, p. 683. — Revues, analyses et informations : La mesure d'intervalles de temps très courts par la méthode de charge d'un condensateur, p. 690.

Section industrielle. — L'usine génératrice hydroélectrique de la Loue, à Mouthier, par J. REYVAL, p. 691. — Projet de normalisation des dimensions des éléments de la construction mécanique, p. 714. — Nouvel isolateur à haute tension, par E. PERRIN et E. PIERNET, p. 716. — Revues, analyses et informations : Essais divers à 1 000 000 volts, p. 720; Les moteurs électriques de très petite puissance, p. 721; Nouveau mode de construction des lampes à incandescence de très grande intensité lumineuse, p. 722.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : Sur la propriété d'une invention faite par un membre du personnel d'une entreprise industrielle, p. 723. — Assemblées générales : Compagnie électrique de la Loire et du Centre, p. 724; Compagnie centrale d'Énergie électrique, p. 725.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Sur les conséquences de la sécheresse de 1921 sur l'exécution des contrats de fourniture d'énergie hydroélectrique, p. 727; Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux, p. 727; Sur les personnes ayant droit à la carte d'identité des voyageurs et représentants de commerce, p. 728; Sur l'application des impôts sur les revenus : détaxe pour diminution de revenus des assurances taxées d'office, p. 728; Sur l'application de l'impôt général sur le revenu au montant des actions distribuées gratuitement, p. 728.

A propos de la « Revision de quelques lois de l'électromagnétisme ». — Nous recevons de M. Paul Bary, la lettre suivante à ce sujet :

Je viens de lire dans la « R. G. E. » du 13 avril 1922, t. XI, p. 532, l'article sur la « Revision de quelques lois de l'électromagnétisme » résumé d'un travail de M. Carl Hering paru dans le « Journal of the Franklin Institute », et il me semble qu'il prête à quelques observations que je me permets de vous adresser aussi brièvement que possible.

1^o Le phénomène de pincement dont parle M. Hering et qui a été décrit par lui vers 1906 est le même que celui que j'avais déjà observé et dont j'avais donné l'explication quelques années avant (*L'Industrie électrique*, 25 avril 1901); je crois que le nom de « striction électromagnétique » que j'ai attribué à ce phénomène (*L'Eclairage électrique*, 1907, t. XII, n^o 15 et t. XLII, n^o 39, et *Journal de Physique pure et appliquée*, 1909 (4), t. VIII, p. 190, s'applique mieux que celui de « pincement » pour un effet qui s'exerce de toute la périphérie du conducteur vers son centre.

2^o Au sujet de la remarque que la règle du flux maximum n'est pas applicable au cas des circuits de longueur variable, il me faut encore signaler qu'elle a fait l'objet d'un article que j'ai publié dans « *L'Industrie électrique* » du 25 août 1902, sous le titre « La règle de Maxwell sur le flux maximum »; j'y ai montré que cette règle ne devait s'employer que pour les circuits formés de conducteurs dont la longueur et le diamètre ne varient pas, ce qui a lieu presque toujours, et que, lorsque la résistance du circuit et l'intensité peuvent

varier, la règle du flux maximum doit être remplacée par celle du coefficient de self-induction maximum, lorsqu'il n'y a pas de flux extérieur à celui produit par le courant considéré.

3^o La conclusion tirée de l'expérience du conducteur qui se déplace sur deux canaux parallèles de mercure, pour admettre l'existence d'un effet d'allongement des courants, ne paraît pas justifiée. Si on prend en considération que l'action prépondérante sur le conducteur mobile est celle des deux conducteurs parallèles de mercure qui sont à angle droit avec lui, on voit que l'on aura toujours le déplacement de la partie mobile dans la même direction, quelle que soit la position adoptée pour le restant du circuit, qui est toujours assez éloigné du conducteur mobile; les lois d'Amperé suffisent donc à prévoir le résultat obtenu.

4^o Enfin je ne pense pas que ces lois qui fixent les attractions et répulsions entre conducteurs doivent nécessairement préciser que les forces en jeu agissent sur le conducteur lui-même et non sur le courant qui le traverse, car il n'est pas concevable qu'il en puisse être autrement. Ainsi, dans l'expérience citée de la spire qui entoure une branche d'aimant, il est évident que l'énergie dépensée dans la spire pendant la variation du flux est empruntée au travail fait par l'opérateur pour déplacer cette spire et plus particulièrement, la partie qui coupe les lignes de force; si cette partie de spire n'est pas liée mécaniquement au reste, comme c'est le cas lorsqu'on utilise la branche de l'aimant, il ne peut pas y avoir d'énergie fournie au système par le déplacement. D'ailleurs, même si le champ agissait directe-

ment sur le courant lui-même et non sur le conducteur, on ne pourrait encore rien observer dans cette expérience puisque, pour embrasser le flux maximum, le courant, s'il prenait naissance, garderait dans l'aimant une position immuable et ne couperait jamais le flux de l'aimant.

En résumé, il semble qu'il soit superflu de rien changer aux énoncés actuellement en usage courant et que seule la règle du flux maximum peut avoir une validité restreinte au cas où les conducteurs ne varient ni en section, ni en longueur.

Veuillez agréer, etc., etc.

Société française des Électriciens : Séance du 3 mai 1922. — La séance, présidée par M. Marcel Brillouin, fut consacrée à l'audition de deux communications.

La première, présentée par M. DE TRAZ, avait pour objet de décrire et de faire connaître les avantages des « pieds indestructibles pour poteaux en bois ». Nous ne nous attarderons pas sur ce sujet qui a déjà fait l'objet d'une communication devant le Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique, reproduite dans son « Bulletin » publié dans notre numéro du 4 février 1922, p. 16 U. Rappelons que ces pieds indestructibles se composent d'un long parallélépipède en béton armé que l'on enfonce en terre et sur lequel vient se fixer le poteau en bois.

Dans la seconde communication, sur les « Surtensions dans les transformateurs », le conférencier, M. BUNET, fit d'abord remarquer que les transformateurs sont soumis, en service et surtout au moment de la fermeture et de l'ouverture du circuit, à des surtensions qui dépassent de beaucoup la tension normale de service ; il en résulte des accidents graves à ces appareils et particulièrement aux premières spires des enroulements.

M. Bunet étudia les phénomènes qui se passent au moment des changements d'état du circuit en tenant compte des capacités entre spires, couches et bobines des transformateurs ; en particulier il considère la capacité entre spires comme un facteur de correction à la self-inductance avec laquelle elle se trouve en dérivation.

Le conférencier donna quelques exemples numériques qui indiquent l'ordre de grandeur des surtensions qui se produisent en service et justifient certaines règles de construction sanctionnées par la pratique. Il exposa ensuite une théorie générale dont les conclusions pourront servir avec grand profit aux constructeurs dans l'exécution de leur matériel. — H. C.

Bibliographie : Problèmes et exercices d'électricité générale ⁽¹⁾, par Paul JANET, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité. — Pour bien comprendre le sens profond des lois élémentaires de l'électricité, pour s'en imprégner, pour n'avoir aucune hésitation sur la signification physique des grandeurs qui y entrent, il faut les avoir utilisées et retournées de toutes les manières.

Dans son ouvrage, M. Janet a mélangé ces lois et a su leur faire jouer un rôle suffisamment complexe et caché pour qu'il y ait quelque mérite à les appliquer correctement. Ces exercices ne font appel qu'à des quantités parfaitement définies et ayant un sens concret, aussi tous suggèrent quelque idée ou amènent à réfléchir sur quelque difficulté.

(1) Un volume, format 22 cm × 14 cm, 253 pages, 90 figures. Edité par Gauthier-Villars et C^e, 55, quai des Grands-Augustins, Paris. Prix : 19,50 fr.

L'auteur a également mélangé le plus souvent possible les notions mécaniques aux notions électriques et n'a jamais laissé échapper une occasion de suivre, dans tous ses détails, la transformation de l'énergie sous toutes ses formes.

Enfin, au point de vue mathématique, un certain nombre de ses exercices ont été utilisés pour bien faire comprendre non seulement l'utilité, mais le sens vrai des opérations différentielles et intégrales.

Ce livre n'a pas la prétention d'embrasser tout le domaine, aujourd'hui si vaste, de l'électricité, mais sa lecture donne une base solide pour des études ultérieures.

Bibliographie : Album de plans de pose pour l'installation de la force par l'électricité, par H. DE GRAFFIGNY, ingénieur-électricien ⁽¹⁾, Bibliothèque des actualités industrielles. — Après les albums consacrés aux téléphones, aux sonneries et à l'éclairage, l'auteur propose un certain nombre de plans et de projets d'installations concernant les applications de l'énergie électrique à la force motrice. Ce quatrième album doit clôturer la série des schémas à publier, dont le nombre s'élève maintenant à 140. Les usages du courant continu sont d'abord passés en revue, puis les courants alternatifs à basse et à haute tension, avec ou sans transformation, enfin les applications à la traction. Calqués sur des installations existantes, on peut dire que ces schémas répondent aux derniers perfectionnements modernes et que, pour cette raison, ils constituent un guide de quelque utilité pour ceux qui ont à organiser des stations ou des réseaux de distribution d'énergie électrique pour la force motrice appliquée à des usages particuliers ou publics, en leur montrant comment les appareils de commande ou récepteurs doivent être agencés dans les circuits. — B. C.

Annuaire 1922 de l'Union des Syndicats de l'Électricité. — L'Union des Syndicats de l'Électricité nous communique la note suivante :

L'édition 1921 de son annuaire étant entièrement épuisée, l'Union a poussé activement l'établissement de l'édition 1922, qui va se trouver plus riche encore que la précédente en renseignements de tous ordres (techniques, commerciaux, administratifs, statistiques, syndicaux, etc.) et qui est actuellement sous presse.

L'Union des Syndicats de l'Électricité prie les personnes qui lui commandent chaque jour des exemplaires de l'annuaire de bien vouloir patienter un peu. Elle servira ces commandes aussitôt que l'ouvrage sortira de chez l'imprimeur.

Elle sera reconnaissante à tous ceux qui ont l'intention d'acquérir l'édition 1922 de bien vouloir se faire inscrire *dès maintenant*, afin qu'elle soit guidée pour fixer l'importance du tirage et ne soit pas prise de court en 1922 à ce sujet, comme elle l'a été en 1921.

Nous rappelons que l'annuaire est un volume de plus de 1 200 pages, dans lequel on trouvera in extenso, de nombreux textes de tous ordres, les cahiers des charges, unifications, et spécifications techniques établis par l'Union des Syndicats de l'Électricité. C'est, pour ces documents, la seule publication officielle autorisée.

Adresser les commandes et les demandes de renseignements à l'Union des Syndicats de l'Électricité, boulevard Malesherbes, 25, Paris (anciennement rue de Madrid 7). Tél. Elysées 31-82.

(1) 1 volume 22 cm × 15 cm, de 144 pages avec 33 planches hors texte, en vente chez Gauthier-Villars et C^e, 53 bis, quai des Grands-Augustins, Paris (VI^e). Prix : 7 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Essai d'une théorie synthétique des machines électriques

L'auteur se propose, dans le présent travail, d'établir les équations générales des machines électriques sur la base de la théorie de Potier, dite du champ transversal. Il applique la théorie générale à chaque catégorie de machines, celles-ci étant classées dans l'ordre suivant : 1° Machines à champ constant : machine à courant continu (pour mémoire) ; 2° Machines à champ alternatif : transformateur statique ; 3° Machines à champ elliptique : moteur monophasé sans ou avec collecteur ; 4° Machines à champ tournant : machines polyphasées asynchrones sans ou avec collecteur ; machines synchrones.

I. Introduction. — Aucun domaine de la technique n'est aussi riche, en théories peut-être, que celui des machines électriques. Il n'est pas rare de voir présenter la théorie d'une même machine sous plusieurs formes totalement différentes conduisant, cependant, au même résultat final. Souvent les hypothèses admises dans les théories de la même machine ne sont pas identiques, de sorte que les résultats auxquels elles aboutissent sont, dans ce cas, différents.

D'autre part, des machines physiquement semblables, telles que machines asynchrones et synchrones à champ tournant ou machines monophasées sans et avec collecteur, sont traitées par des méthodes très différentes qui permettent difficilement de découvrir les propriétés physiques communes sur lesquelles repose leur fonctionnement. Il n'est pas douteux que cette situation comporte de sérieux inconvénients sur lesquels il nous semble inutile d'insister.

Aussi croyons-nous qu'il y a intérêt de faire une synthèse des théories classiques en mettant en évidence leur origine commune et de faire ressortir les points de raccordement entre diverses théories permettant un passage facile de l'une à l'autre.

La présente étude ne fait qu'amorcer la solution de ce problème. Nous nous proposons simplement de montrer que la théorie bien connue de Potier, dite du champ transversal, permet d'établir un point de départ commun à toutes les machines. Pour plus de clarté, nous ferons abstraction de tout phénomène, même important pratiquement, dont l'existence n'entraîne pas de modifications sensibles des propriétés fondamentales de la machine. Ainsi nous renoncerons de tenir compte des phénomènes de la commutation et de la saturation magnétique et nous supposerons la forme sinusoïdale des flux et une variation sinusoïdale dans le temps des forces électromotrices et des courants. Une application systématique de ces hypothèses limitatives à la théorie de toutes les machines conduira aux résultats comparables entre eux, le degré d'approximation étant le même dans tous les cas, et permettra de mettre en évidence les propriétés physiques souvent

communes aux machines dissemblables en apparence.

Cette façon de procéder ne présente, bien entendu, qu'une première étape vers la solution du problème et ne conduit qu'à des résultats par trop simplistes. Elle a cependant l'avantage de faire ressortir aussi clairement que possible le côté purement physique de fonctionnement d'une machine. La seconde étape, plus difficile sans doute à franchir que la première, consisterait à perfectionner la théorie de chaque classe de machines en tenant compte des phénomènes d'ordre secondaire pratiquement très importants. Nous croyons pouvoir affirmer que même la théorie développée, dont nous ne nous occuperons pas, peut être établie dans le même esprit de généralisation, de sorte que les résultats acquis seront applicables à toutes les machines physiquement semblables. Pour s'en convaincre, il suffit de se rapporter aux études récemment publiées par divers auteurs et dans lesquelles la théorie classique des moteurs synchrones saturés a été appliquée avec succès à leurs confrères asynchrones.

NOTATIONS. — Pour le champ elliptique, nous adopterons les notations suivantes :

1° Vecteurs :

Φ'_1 , flux total résultant dirigé suivant l'axe I et traversant l'enroulement primaire.

Φ'_2 , flux total résultant dirigé suivant l'axe II et traversant l'enroulement primaire.

Φ''_1 , flux total résultant dirigé suivant l'axe I et traversant l'enroulement secondaire.

Φ''_2 , flux total résultant dirigé suivant l'axe II et traversant l'enroulement secondaire.

I_1 , I_2 , I'_1 et I'_2 , intensités des courants dans les enroulements correspondants.

E'_1 , E'_2 , E''_1 et E''_2 , tensions appliquées aux enroulements ci-dessus.

2° Constantes :

L'_1 , coefficient de self-induction de l'enroulement primaire concentrique à l'axe I.

L'_2 , coefficient de self-induction de l'enroulement primaire concentrique à l'axe II.

L''_1 , coefficient de self-induction de l'enroulement secondaire concentrique à l'arc I.

L''_2 , coefficient de self-induction de l'enroulement secondaire concentrique à l'axe II.

M_1 , coefficient d'induction mutuelle entre les enroulements disposés dans l'axe I.

M_2 , coefficient d'induction mutuelle entre les enroulements disposés dans l'axe II.

R'_1, R'_2, R''_1, R''_2 , résistances ohmiques des enroulements.

ω , pulsation égal à $2\pi f$.

ω_2 , vitesse de rotation égale à $2\pi \frac{n}{60}$.

Les notations du champ tournant seront :

1° Vecteurs :

Φ' , flux tournant résultant traversant l'enroulement primaire.

Φ'' , flux tournant résultant traversant l'enroulement secondaire.

I' et I'' , courants traversant les enroulements primaire et secondaire.

E' et E'' , tensions agissant sur l'enroulement primaire et secondaire.

2° Constantes cycliques :

L' , coefficient de self-induction du primaire.

L'' , coefficient de self-induction du secondaire.

M , coefficient d'induction mutuelle.

R' et R'' , résistances ohmiques du primaire et du secondaire.

Nota. — Le produit scalaire des deux vecteurs I' et I'' est désigné par un trait horizontal $\overline{I' I''}$.

Le produit vectoriel, par un signe $\nabla I' I''$.

Le produit scalaire de deux vecteurs est, bien entendu, une grandeur scalaire. On ne considérera que le module du produit vectoriel. Toutefois, dans le but de simplifier l'écriture, ces grandeurs sont désignées par les mêmes symboles que les vecteurs.

Toutes les équations qui suivent peuvent être lues indifféremment en valeurs maxima ou en valeurs efficaces. Dans ce dernier cas, le couple et l'énergie électromagnétique ont leurs vraies valeurs.

II. Etablissement des équations générales. —

Le champ magnétique d'une machine électrique peut être toujours considéré comme cas particulier d'un champ elliptique. Nous établirons les équations générales d'une machine à champ elliptique en nous basant sur la théorie de Potier. Pour plus de simplicité, la machine est supposée bipolaire. Nous examinerons deux cas : 1° induit muni d'un collecteur ; 2° induit en court-circuit.

1° INDUIT MUNI D'UN COLLECTEUR. — Un induit à collecteur muni de deux paires de balais a, — a et b, — b (fig. 1) tourne dans le sens de la flèche dans un champ elliptique provenant de deux enroulements statoriques A et B. Le champ du stator se décompose en deux champs alternatifs agissant dans les axes I et II et déphasés dans le temps d'un angle convenable. Le

champ du rotor alimenté par les balais a — a et b — b pourra à son tour être remplacé par les champs alternatifs dans les axes I et II. Les champs alternatifs coexistants dans le même axe se composeront en un champ résultant.

Désignons par Φ' , le vecteur du flux résultant dans l'axe I ; par I'_1 , le vecteur du courant traversant l'en-

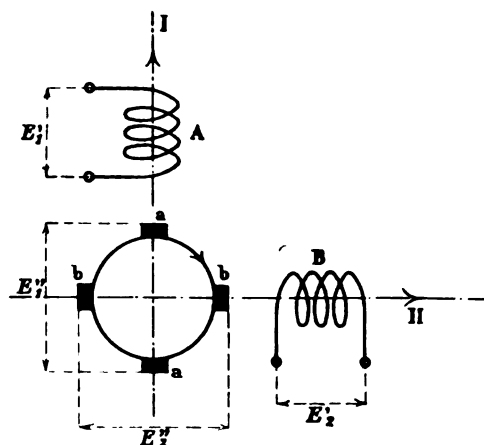


Fig. 1.

roulement A ; par R'_1 , la résistance ohmique de l'enroulement A et par E'_1 , la tension aux bornes.

On exprimera la condition d'équilibre des forces électromotrices dans le circuit A en écrivant

$$E'_1 = j\omega\Phi'_1 + I'_1 R'_1;$$

de même pour le deuxième enroulement statorique B

$$E'_2 = j\omega\Phi'_2 + I'_2 R'_2, \quad \text{où } j = \sqrt{-1}.$$

Des relations analogues existent dans les deux circuits du rotor tournant avec une vitesse angulaire ω_r , si on tient compte, en plus de la force électromotrice statique, de la force électromotrice dynamique $\omega_r \Phi$. Les forces électromotrices dynamiques seront développées dans le rotor sous l'influence des flux Φ'_1 et Φ'_2 qui agissent dans les axes I et II du rotor.

La première d'une valeur $\omega_r \Phi'_1$, ne peut apparaître qu'entre les balais b — b ; elle provient de la rotation dans le flux dirigé suivant l'axe I. La deuxième d'une valeur $\omega_r \Phi'_2$, provient de la rotation de l'induit dans le flux de l'axe II. Elle agit aux balais a — a.

Fixons les directions positives des flux suivant les axes I et II ; le sens de rotation positif est celui qui correspond au mouvement des aiguilles d'une montre. Les forces électromotrices induites dans les circuits du rotor seront $-\omega_r \Phi'_2$ dans l'axe I et $+\omega_r \Phi'_1$ dans l'axe II. La condition d'équilibre de toutes les forces électromotrices dans les deux circuits du rotor aboutissant aux balais a — a et b — b s'écrivent

$$\text{axe I} \quad E''_1 = j\omega\Phi'_1 + \omega_r \Phi'_2 + I''_1 R''_1,$$

$$\text{axe II} \quad E''_2 = j\omega\Phi'_2 - \omega_r \Phi'_1 + I''_2 R''_2.$$

2° **INDUIT EN COURT-CIRCUIT.** — Considérons le cas d'un induit en court-circuit tournant dans un champ elliptique en présence de deux enroulements statoriques A et B (fig. 2).

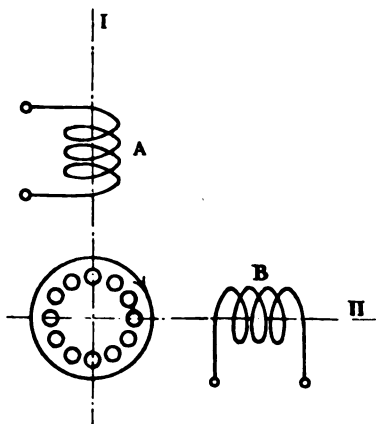


Fig. 2.

Désignons par Φ''_1 le flux résultant (amplitude) dans l'axe I du rotor et par Φ''_2 le flux résultant dans l'axe II. Les valeurs instantanées des flux sont :

Axe I $\Phi''_1 \sin \omega t$;

Axe II $\Phi''_2 \sin (\omega t - \varphi)$.

Nous pouvons nous représenter l'induit comme étant formé d'un très grand nombre de cadres fermés.

Examinons un de ces cadres pendant son mouvement de rotation au moment où il occupe une position définie par un angle α avec l'axe I (fig. 3).

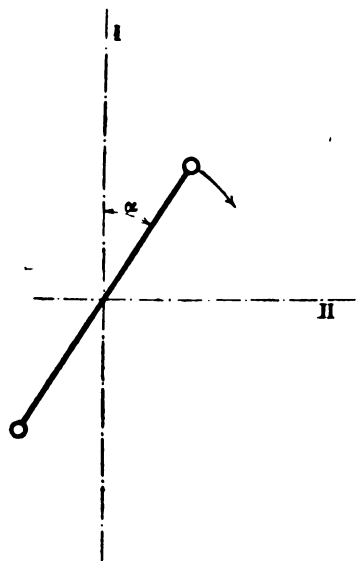


Fig. 3.

La valeur instantanée de la force électromotrice induite dans le cadre par le flux $\Phi''_1 \sin \omega t$ est

$$e' = -\frac{d}{dt} \Phi''_1 \sin \omega t \sin \alpha = -\Phi''_1 \sin \omega t \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt} \\ - \omega \Phi''_1 \cos \omega t \sin \alpha;$$

ou bien, en remplaçant $\frac{d\alpha}{dt}$ par ω ,

$$e' = -\omega \Phi''_1 \sin \omega t \cos \alpha - \omega \Phi''_1 \cos \omega t \sin \alpha.$$

Un calcul analogue pour le flux Φ''_2 donne comme résultat

$$e'' = -\frac{d}{dt} \Phi''_2 \sin (\omega t - \varphi) \cos \alpha = +\omega \Phi''_2 \sin (\omega t - \varphi) \sin \alpha \\ - \omega \Phi''_2 \cos (\omega t - \varphi) \cos \alpha.$$

Finalement, dans un cadre occupant la position α , la force électromotrice instantanée est

$$e' + e'' = [-\omega \Phi''_1 \cos \omega t + \omega \Phi''_2 \sin (\omega t - \varphi)] \sin \alpha \\ [-\omega \Phi''_2 \cos (\omega t - \varphi) - \omega \Phi''_1 \sin \omega t] \cos \alpha.$$

En désignant par R la résistance ohmique du cadre et en se rappelant que la force électromotrice $e' + e''$ tient compte de tous les flux, la valeur instantanée du courant traversant le cadre sera

$$i = \frac{e' + e''}{R} = \frac{1}{R} [-\omega \Phi''_1 \cos \omega t + \omega \Phi''_2 \sin (\omega t - \varphi)] \sin \alpha \\ + \frac{1}{R} [-\omega \Phi''_2 \cos (\omega t - \varphi) - \omega \Phi''_1 \sin \omega t] \cos \alpha.$$

En assignant à l'angle α une valeur convenable, on lit la valeur du courant au moment t dans un cadre quelconque de l'induit.

L'expression précédente montre que les intensités de courant circulant dans l'induit se groupent symétriquement par rapport aux axes I et II et qu'elles forment pour chaque axe une nappe sinusoïdale oscillante (1). (fig. 4). En résumant ce qui précède, on peut dire que la réaction d'un rotor en court-circuit se manifeste par l'existence de deux nappes de courants :

1° Une nappe sinusoïdale des courants symétriques par rapport à l'axe I.

Tous ces courants sont en phase et forment ainsi une nappe oscillante (fig. 4). Le volume de courant en un point quelconque de la nappe est donné par l'expression

$$\frac{1}{R} [-\omega \Phi''_1 \cos \omega t + \omega \Phi''_2 \sin (\omega t - \varphi)] \sin \alpha.$$

L'action d'une telle nappe sur le stator est équivalente à un enroulement immobile réparti sinusoïdalement et se trouvant sous l'action d'une force électromotrice statique $-\omega \Phi''_1 \cos \omega t$ et d'une force électromotrice dynamique $+\omega \Phi''_2 \sin (\omega t - \varphi)$.

2° Une nappe sinusoïdale, symétrique par rapport à l'axe II, dont l'action est équivalente à un enroulement fixe soumis à une force électromotrice statique $-\omega \Phi''_2 \cos (\omega t - \varphi)$ et à une force dynamique $-\omega \Phi''_1 \sin \omega t$.

(1) R. G. E., 17 septembre 1921, t. x. p. 347.

L'action de l'ensemble de conducteurs du rotor en mouvement sur le stator est donc équivalente à celle de

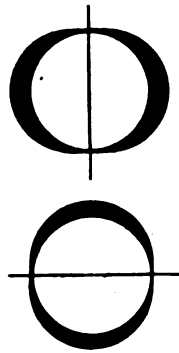


Fig. 4.

deux enroulements fixes 1 et 2 (fig. 5) disposés dans les axes I et II.

En reprenant les notations vectorielles, on pourra écrire les conditions d'équilibre des forces électro-

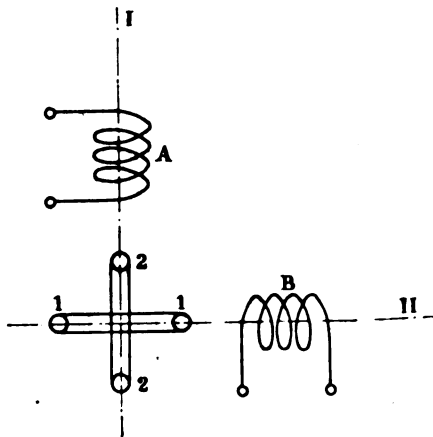


Fig. 5.

motrices dans les deux circuits du rotor sous la forme suivante

$$\text{Axe I} \quad j\omega\Phi'_1 + \omega_r\Phi'_2 + I''_1 R''_1 = 0;$$

$$\text{Axe II} \quad j\omega\Phi'_2 - \omega_r\Phi'_1 + I''_2 R''_2 = 0.$$

Dans ces expressions R''_1 et R''_2 se rapportent aux circuits équivalents et I''_1 , I''_2 désignent les intensités des courants qui les parcourent.

Les considérations précédentes permettent de conclure que les équations générales d'une machine à champ elliptique, sans ou avec collecteur, peuvent toujours se mettre sous la forme suivante

$$\begin{aligned} \text{Axe I} & \begin{cases} E'_1 = j\omega\Phi'_1 + I'_1 R'_1 \\ E''_1 = j\omega\Phi'_1 + \omega_r\Phi'_2 + I''_1 R''_1 \end{cases} \\ \text{Axe II} & \begin{cases} E'_2 = j\omega\Phi'_2 - \omega_r\Phi'_1 + I'_2 R'_2 \\ E''_2 = j\omega\Phi'_2 + I''_2 R''_2 \end{cases} \end{aligned} \quad \text{Rotor.} \quad (1)$$

En posant dans les équations (1) $E''_1 = 0$ et $E''_2 = 0$, on retrouve le cas particulier d'induit en court-circuit. Il s'ensuit qu'une machine à induit en court-circuit possède les mêmes caractéristiques qu'une machine à collecteur à deux paires de balais court-circuités sur chaque diamètre.

III. Étude générale d'un champ elliptique et classification des machines électriques. — Le système des équations (1) est applicable, non seulement aux machines possédant un champ elliptique proprement dit telles que moteurs monophasés à courant alternatif, mais aussi à toutes celles dont le champ peut être considéré comme un cas particulier d'un champ elliptique. Il suffit d'examiner les équations générales pour s'apercevoir que la forme du champ a une grande influence sur les caractéristiques de fonctionnement. Dès lors, il semble logique de chercher à classer les machines d'après la nature du champ magnétique intervenant dans leur fonctionnement. Toutes les machines classées ainsi dans la même catégorie posséderont certaine affinité due à la même nature du champ qu'elles utilisent dans la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique ou vice-versa.

On obtient ainsi les catégories suivantes :

1° Machines à champ constant dans lesquelles l'ellipse se réduit à un point, ce sont les machines à courant continu ;

2° Machines à champ alternatif simple où l'ellipse se ramène à une droite. Exemple : transformateurs ;

3° Machines à champ elliptique proprement dit, telles que machines monophasées sans ou avec collecteur ;

4° Machines à champ tournant dans lesquelles l'ellipse prend la forme simple d'un cercle.

Nous appliquerons la théorie générale à un exemple appartenant à chacune des catégories mentionnées et nous tâcherons de dégager les propriétés fondamentales des machines de la même classe.

Toutefois, avant d'aborder cette étude, nous mettrons en évidence certaines propriétés générales des machines, en analysant les équations (1) sous leur forme primitive.

Nous ferons usage de la méthode suggérée dernièrement par M. Le Cocq dans la « R. G. E. » 1921, t. X, p. 85 et 123, et qui consiste à suivre le passage des puissances active et réactive à travers la machine.

Nous établirons, tout d'abord, des relations d'ordre général, d'une part, entre la puissance active et le couple et, d'autre part, entre la puissance réactive et l'énergie électromagnétique.

Nous croyons utile de rappeler très brièvement la définition des puissances et leur représentation algébrique :

Étant donné le vecteur de la tension \vec{E} et le vecteur du courant \vec{I} , on peut définir la puissance active comme produit scalaire des deux vecteurs (fig. 6)

$$P_a = \vec{E} \cdot \vec{I} = EI \cos \varphi.$$

La puissance réactive sera exprimée par le produit vectoriel des mêmes vecteurs.

$$P_r = \nabla EI = EI \sin \varphi.$$

Il est bien entendu que les résultats de ces opérations ne contiennent que des modules des vecteurs.

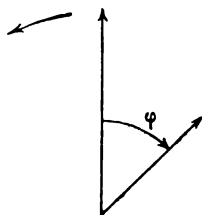


Fig. 6.

Nous laissons intentionnellement les mêmes notations pour ne pas compliquer l'écriture.

Il convient de se rappeler que

$$\overline{EI} = \overline{IE} \quad \nabla EI = -\nabla IE.$$

En comptant l'angle φ dans le sens opposé à la rotation des vecteurs, la puissance réactive est positive pour un déphasage de l'intensité en arrière de la tension et négative pour un déphasage en avant. Une opération qu'on rencontrera souvent par la suite consiste à former le produit scalaire et vectoriel de deux vec-

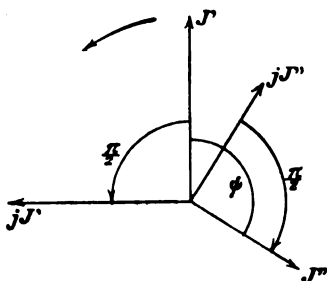


Fig. 7.

teurs I' et I'' (fig. 7) décalés d'un certain angle ψ dans le temps.

Les conventions de signes permettent d'écrire

$$\left. \begin{aligned} \overline{I'I''} &= \overline{I''I'} = I'I'' \cos \psi, \\ \nabla I'I'' &= I'I'' \sin \psi \quad \nabla I''I' = -I'I'' \sin \psi, \\ \overline{I'I'} &= (I')^2 \quad \nabla j I'I'' = (I')^2 \\ j \overline{I'I''} &= I'I'' \cos \left(\psi + \frac{\pi}{2} \right) = -I'I'' \sin \psi = -\nabla I'I'' \\ \nabla j I'I'' &= I'I'' \sin \left(\psi + \frac{\pi}{2} \right) = I'I'' \cos \psi = \overline{I'I''}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

1. RELATION ENTRE LA PUISSANCE ACTIVE ET LE COUPLE. — Formons les produits scalaires des deux membres des équations (1) respectivement par I'_1 et I''_1 , I'_2 et I''_2 et additionnons les résultats

$$\begin{aligned} E'_1 I'_1 \cos \varphi'_1 + E'_1 I''_1 \cos \varphi''_1 + E''_2 I'_2 \cos \varphi'_2 + E''_2 I''_2 \cos \varphi''_2 \\ = \Sigma EI \cos \varphi = R_1 (I'_1)^2 + R''_1 (I''_1)^2 + R_2 (I'_2)^2 \\ + R''_2 (I''_2)^2 - \omega (\nabla \Phi'_1 I'_1 + \nabla \Phi''_1 I''_1) \\ - \omega (\nabla \Phi''_2 I'_2 + \nabla \Phi'_2 I''_2) + \omega_r (\overline{\Phi''_2 I'_1} - \overline{\Phi'_1 I''_2}). \end{aligned} \quad (3)$$

Les deux termes contenant des produits vectoriels s'annulent. En effet, on peut poser

$$\Phi'_1 = L'_1 I'_1 + M I''_1, \quad \Phi''_1 = L''_1 I''_1 + M I'_1,$$

où L et M sont des coefficients d'induction.

En portant ces valeurs dans l'un des termes il vient

$$\nabla (\Phi'_1 I'_1 + \Phi''_1 I''_1) = M (\nabla I'_1 I''_1 + \nabla I''_1 I'_1) = 0.$$

La relation (3) devient

$$\Sigma EI \cos \varphi = \Sigma R I^2 + \omega_r (\overline{\Phi''_2 I'_1} - \overline{\Phi'_1 I''_2}). \quad (4)$$

La relation (4) représente le bilan de la puissance active dans une machine à champ elliptique. La puissance absorbée est transformée en partie en chaleur $\Sigma R I^2$ et en partie en puissance mécanique sous la forme d'un produit de la vitesse angulaire par le couple

$$\omega_r (\overline{\Phi''_2 I'_1} - \overline{\Phi'_1 I''_2}) = \omega_r C.$$

C est numériquement égal au couple de la machine.

La relation (4) peut donc s'écrire dans le cas général

$$\Sigma EI \cos \varphi = \Sigma R I^2 + \omega_r C. \quad (5)$$

où $2 \times$ couple en watts synchrones =

$$\omega C = \omega (\overline{\Phi''_2 I'_1} - \overline{\Phi'_1 I''_2}). \quad (6)$$

Les expressions (5) et (6) sont valables pour toutes les machines avec ou sans collecteur.

Dans le cas des machines à induit en court-circuit, on peut expliciter la valeur du terme entre crochets (6).

En effet, dans ce dernier cas, les équations relatives au rotor d'une résistance R_r sont

$$\begin{aligned} j \omega \Phi''_1 + \omega_r \Phi''_2 + I'_1 R_r &= 0, \\ j \omega \Phi''_2 - \omega_r \Phi''_1 + I''_2 R_r &= 0, \end{aligned}$$

Formons le produit vectoriel de la première équation par I''_2 et de la deuxième par I'_1 et retranchons les résultats

$$\omega (\overline{\Phi''_2 I'_1} - \overline{\Phi'_1 I''_2}) - \omega_r \nabla (\Phi'_1 I''_1 + \Phi''_2 I'_2) - 2 R_r \nabla I'_1 I''_2 = 0. \quad (7)$$

Formons le produit scalaire de la première équation du rotor par $I'_1 \frac{\omega_r}{\omega}$ et de la deuxième par $I'_2 \frac{\omega_r}{\omega}$ et additionnons les résultats :

$$-\omega_r \nabla (\Phi'_1 I'_1 + \Phi'_2 I'_2) + \frac{\omega_r^2}{\omega} (\overline{\Phi'_2 I'_1} - \overline{\Phi'_1 I'_2}) + \frac{\omega_r}{\omega} R_r (I'_1)^2 + \frac{\omega_r}{\omega} R_r (I'_2)^2 = 0. \quad (8)$$

En combinant (7) avec (8) on obtient

$$\omega \left[1 - \left(\frac{\omega_r}{\omega} \right)^2 \right] (\overline{\Phi'_2 I'_1} - \overline{\Phi'_1 I'_2}) = \frac{\omega_r}{\omega} R_r (I'_1)^2 + \frac{\omega_r}{\omega} (I'_1)^2 + 2 R_r I'_1 I'_2 \sin \psi,$$

où ψ est l'angle de retard de I'_2 sur I'_1 .

Le couple en watts synchrones d'une machine à champ elliptique à induit fermé sur lui-même est donc

$$\begin{aligned} \omega C &= \omega (\overline{\Phi'_2 I'_1} - \overline{\Phi'_1 I'_2}) \\ &= \frac{\frac{\omega_r}{\omega} R_r (I'_1)^2 + \frac{\omega_r}{\omega} R_r (I'_2)^2 + 2 R_r I'_1 I'_2 \sin \psi}{1 - \left(\frac{\omega_r}{\omega} \right)^2}. \end{aligned} \quad (9)$$

2. RELATION ENTRE LA PUISSANCE RÉACTIVE ET L'ÉNERGIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE. — Reprenons les équations initiales (1) et formons la somme des produits vectoriels

$$\begin{aligned} EI'_1 \sin \varphi'_1 + E'_1 I'_1 \sin \varphi'_1 + E'_2 I'_2 \sin \varphi'_2 + E'_2 I'_2 \sin \varphi'_2 \\ = \Sigma EI \sin \varphi = \omega (\overline{\Phi'_1 I'_1} + \overline{\Phi'_1 I'_1}) \\ + \omega (\overline{\Phi'_2 I'_2} + \overline{\Phi'_2 I'_2}) + \omega_r \nabla (\Phi'_2 I'_1 - \Phi'_1 I'_2). \end{aligned}$$

Remplaçons les flux par leurs valeurs en fonction des coefficients d'induction.

$$\begin{aligned} \Phi'_1 &= L'_1 I'_1 + M I'_2, & \Phi'_2 &= L'_2 I'_2 + M I'_1, \\ \Phi'_2 &= L'_2 I'_2 + M I'_1, & \Phi'_1 &= L'_1 I'_1 + M I'_2. \end{aligned}$$

Il vient

$$\begin{aligned} \Sigma EI \sin \varphi &= \omega [L'_1 (I'_1)^2 + 2 M I'_1 I'_2 \cos \psi_1 + L'_2 (I'_2)^2] \\ &+ \omega [L'_2 (I'_2)^2 + 2 M I'_1 I'_2 \cos \psi_2 + L'_1 (I'_1)^2] \\ &+ \omega_r \nabla (\Phi'_2 I'_1 - \Phi'_1 I'_2). \end{aligned}$$

Posons $T = 2 \times$ énergie électromagnétique moyenne du système. Nous arrivons finalement à la relation suivante entre la puissance réactive et l'énergie électromagnétique

$$\Sigma EI \sin \varphi = \omega T + \omega_r \nabla (\Phi'_2 I'_1 - \Phi'_1 I'_2), \quad (10)$$

L'expression (10) de la puissance réactive présente

une analogie frappante avec celle (4) de la puissance active.

Dans les deux cas, on constate la présence d'un terme proportionnel à la vitesse angulaire pouvant devenir négatif par suite d'un changement de signe de l'expression entre crochets. Dans le cas de la puissance active, le renversement de signe correspond au passage du régime en moteur au régime en générateur. De même, dans le cas de la puissance réactive, un signe négatif du terme $\nabla (\Phi'_2 I'_1 - \Phi'_1 I'_2)$ pourra entraîner le renversement du signe de la valeur totale de la puissance réactive. La machine fournira de la puissance réactive au réseau et produira l'effet d'un condensateur.

Les expressions (4) et (10) contiennent, d'autre part, des termes indépendants de la vitesse angulaire. Il est facile de se convaincre que ces termes sont essentiellement positifs. La chose est évidente en ce qui concerne le terme $\Sigma R I^2$ de l'expression (4).

Reste le terme ωT de l'expression (10).

Transformons l'expression de l'énergie électromagnétique moyenne d'un système de deux circuits en introduisant les coefficients d'induction fractionnaires, l' et l'' .

$$L' = aM + l', \quad L'' = \frac{M}{a} + l'',$$

où a est rapport de transformation.

$$\begin{aligned} L'(I')^2 + 2 M I' I'' \cos \psi + L''(I'')^2 &= l'(I')^2 + a^2 l'' \left(\frac{I'}{a} \right)^2 \\ &+ a M \left[(I')^2 + \left(\frac{I''}{a} \right)^2 + 2 I' \frac{I''}{a} \cos \psi \right]. \end{aligned}$$

Or $\frac{I''}{a}$ est le courant secondaire réduit au primaire.

Le graphique (fig. 8) montre que l'expression entre

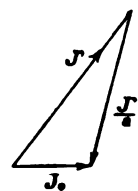


Fig. 8.

crochets représente I_0^2 , où I_0 est le courant magnétisant.

On conclut que l'énergie électromagnétique d'un système de plusieurs courants peut toujours être représentée par

$$T = \Sigma (l' (I')^2 + l'' (I'')^2 + a M I_0^2).$$

Cette valeur est essentiellement positive pour tous courants non nuls.

Si la machine comporte un induit en court-circuit, la relation entre la puissance réactive et l'énergie électromagnétique devient beaucoup plus simple.

En effet, dans ce dernier cas, les équations du rotor sont

$$\begin{aligned} j\omega\Phi''_1 + \omega_r\Phi''_2 + I''_1 R &= 0; \\ j\omega\Phi''_2 - \omega_r\Phi''_1 + I''_2 R &= 0. \end{aligned}$$

Formons le produit scalaire de la première équation par $\frac{\omega_r}{\omega} I''_2$ et de la deuxième par $\frac{\omega_r}{\omega} I''_1$ et retranchons les résultats.

$$-\omega_r \nabla (\Phi''_2 I''_1 - \Phi''_1 I''_2) - \frac{\omega_r^2}{\omega} (\overline{\Phi''_1 I''_1} + \overline{\Phi''_2 I''_2}) = 0.$$

D'autre part, la somme des produits vectoriels de la première équation par I''_1 et de la deuxième par I''_2 donne

$$\omega (\overline{\Phi''_1 I''_1} + \overline{\Phi''_2 I''_2}) + \omega_r \nabla (\Phi''_2 I''_1 - \Phi''_1 I''_2) = 0.$$

En combinant les deux dernières expressions, on trouve

$$\left[1 - \left(\frac{\omega_r}{\omega} \right)^2 \right] \nabla (\Phi''_2 I''_1 - \Phi''_1 I''_2) = 0;$$

d'où

$$\nabla (\Phi''_2 I''_1 - \Phi''_1 I''_2) = 0.$$

Si l'induit de la machine est en court-circuit l'expression de la puissance réactive (10) devient.

$$\Sigma EI \sin \varphi = \omega T. \quad (11)$$

On voit que dans ce cas la valeur du facteur de puissance ne peut jamais atteindre l'unité.

IV. Étude générale des machines à champ tournant. — Les résultats obtenus dans le dernier chapitre concernent le cas général d'un champ elliptique. Ils s'appliquent naturellement au cas d'un champ tournant, ce dernier n'étant qu'un cas particulier d'un champ elliptique.

Toutefois la notion d'un champ tournant et des coefficients cycliques d'induction permet de s'affranchir des axes I et II et aboutit à une simplification notable de la théorie générale des machines de cette catégorie.

La théorie du champ tournant découle, tout naturellement, de la théorie du champ elliptique aussitôt qu'on admet la symétrie des phénomènes dans les axes I et II.

Reprenons les équations initiales (1).

De la définition même d'un champ tournant, il résulte qu'on peut poser

$$\begin{aligned} \Phi''_2 &= -j\Phi''_1, & I''_2 &= -jI''_1 \\ \Phi'_2 &= -j\Phi'_1, & I'_2 &= -jI'_1. \end{aligned}$$

Les équations générales (1) deviennent

$$\begin{aligned} \text{Axe I} \quad & \begin{cases} E'_1 = j\omega\Phi'_1 + I'_1 R_1, \\ E''_1 = j(\omega - \omega_r)\Phi''_1 + I''_1 R_r. \end{cases} \\ \text{Axe II} \quad & \begin{cases} E'_2 = j(\omega - \omega_r)\Phi'_2 + I'_2 R_r, \\ E''_2 = j\omega\Phi''_2 + I''_2 R_2. \end{cases} \end{aligned}$$

Tous les vecteurs de l'axe II sont retardés de $\frac{\pi}{2}$ par

rapport aux vecteurs correspondants de l'axe I et possèdent le même module dans les deux axes.

Les nappes de courants symétriques par rapport à l'axe I et II ont la même amplitude et sont parcourues

par des courants décalés dans le temps de $\frac{\pi}{2}$. La super-

position des deux nappes fournit une nappe tournante résultante, de la même amplitude que les nappes oscillantes dont elle se compose (fig 9).

D'autre part, la coexistence des flux Φ_1 et $\Phi_2 = -j\Phi_1$ dans les axes I et II crée un flux tournant Φ de la même

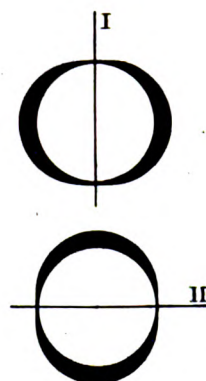


Fig. 9.

amplitude que les deux flux alternatifs simples dont il se compose.

Ces remarques suffisent pour conclure que les quatre équations générales se ramènent à deux dans le cas d'un champ tournant.

Désignons par Φ' et Φ'' les flux tournants résultant du stator et du rotor et par I' et I'' les valeurs de l'intensité des nappes tournantes.

Les équations générales deviennent

$$\left. \begin{aligned} \bar{E}' &= j\omega\Phi' + I'R_s, \\ \bar{E}'' &= j(\omega - \omega_r)\Phi'' + I''R_r. \end{aligned} \right\} \quad (1bis)$$

Toutes les valeurs se rapportent maintenant à des nappes tournantes. Il s'ensuit ⁽¹⁾ que tous les coefficients des équations (1 bis) sont des coefficients cycliques de M. Blondel. Les valeurs des forces électromotrices et des courants sont également des valeurs cycliques.

1. RELATION ENTRE LA PUISSANCE ACTIVE ET LE COUPLE DANS LE CAS D'UN CHAMP TOURNANT. — Transformons la relation générale (4).

$$\Sigma EI \cos \varphi = \Sigma RI^2 + \omega_r [\overline{\Phi''_2 I''_1} - \overline{\Phi''_1 I''_2}].$$

Posons, comme précédemment,

$$\Phi''_2 = -j\Phi''_1, \quad I''_2 = -jI''_1.$$

L'expression entre crochets devient

$$\Phi''_2 I''_1 - \Phi''_1 I''_2 = -j\Phi''_1 I''_1 + \Phi''_1 jI''_1.$$

⁽¹⁾ R. G. E., 17 septembre 1921, t. x, p. 347.

Or

$$j\Phi'_1 I''_1 = -\sqrt{\Phi'_1 I''_1} \quad \text{et} \quad \Phi''_1 jI'_1 = +\sqrt{\Phi''_1 I'_1},$$

de sorte que

$$\Phi''_1 I'_1 - \Phi'_1 I''_1 = 2\sqrt{\Phi''_1 I'_1}.$$

La relation (4) devient

$$2E'_1 I'_1 \cos \varphi_1 + 2E'_2 I'_2 \cos \varphi_2 = 2R'_1 (I'_1)^2 + 2R''_1 (I''_1)^2 + 2\omega_r \sqrt{\Phi''_1 I'_1}.$$

En passant aux notations cycliques, la même relation s'écrit

$$E'I' \cos \varphi' + E''I'' \cos \varphi'' = R_s(I')^2 + R_r(I'')^2 + \omega_r \sqrt{\Phi''I'}. \quad (4bis)$$

Le couple en wats synchrones (le double de sa valeur numérique) est donné par l'expression

$$\omega C = \omega \sqrt{\Phi''I'}. \quad (6bis)$$

On peut expliciter la formule du couple dans le cas d'un rotor en court-circuit. L'expression (9) est directement applicable. Elle se simplifie si on introduit le glissement g

$$1 - \frac{\omega_r}{\omega} = g.$$

L'expression (9) devient

$$\omega C = \frac{R(I'')^2}{g}. \quad (9bis)$$

2. RELATION ENTRE LA PUISSANCE RÉACTIVE ET L'ÉNERGIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE DANS LES MACHINES À CHAMP TOURNANT. — Transformons la relation générale (10) obtenue pour le champ elliptique

$$\Sigma EI \sin \varphi = \omega T + \omega_r \sqrt{(\Phi''_1 I'_1 - \Phi''_2 I'_2)}.$$

En posant, comme précédemment,

$$\Phi''_2 = -j\Phi''_1 \quad \text{et} \quad I'_2 = -jI'_1,$$

on trouve

$$\sqrt{(\Phi''_2 I'_1 - \Phi''_1 I'_2)} = \sqrt{(-j\Phi''_1 I'_1 + \Phi''_1 jI'_1)} = -\sqrt{2\Phi''_1 I'_1}.$$

En substituant cette valeur dans l'équation (10) et en passant aux notations cycliques, on obtient définitivement

$$E'I' \sin \varphi' + E''I'' \sin \varphi'' = \omega T - \omega_r \Phi''I''. \quad (10bis)$$

(A suivre).

V. GENKIN.

Revue, analyses et informations

La mesure d'intervalles de temps très courts par la méthode de charge d'un condensateur (1).

La méthode a déjà été indiquée (Klopsteg, *Phys. Rev.* t. xv, juillet 1920; Wester and Allen, *Ann. Phil. Soc. Proc.* t. LVIII, n° 6, 1919).

Principe : on charge un condensateur de capacité C au moyen d'une force électromotrice constante : 1° à travers une résistance R , durant le temps t ; la charge recueillie est q , que l'on mesure au galvanomètre balistique; 2° de façon complète; soit q_0 cette dernière charge. On sait qu'il existe entre q et q_0 la relation

$$q = q_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right);$$

d'où, approximativement, au début de la charge à travers R ;

$$t = RC \frac{q}{q_0}.$$

La mesure du temps t est ramenée à deux mesures au galvanomètre balistique.

Les auteurs se sont proposé d'examiner la précision de cette méthode.

Dans leurs expériences t est la durée de parcours d'une balle de fusil entre deux fils métalliques fins a et b (fig. 1) qu'elle brise successivement. La rupture de a permet à la batterie B de charger le condensateur C à travers la résistance R . La rupture de b coupe le circuit de charge. La charge q recueillie durant le temps t est mesurée au balistique G en fermant la coupure K_1 . Comme on a déterminé q_0 auparavant, on peut déduire t .

D'autre part, normalement à l'axe d'un moteur électrique parallèle à la trajectoire sont fixés à distance comme deux

disques de carton qui sont traversés successivement par le projectile. Le moteur tournant à vitesse constante (ce qui est vérifié par un procédé stroboscopique), la distance angulaire des deux trous percés par la balle dans les disques donne une mesure de la vitesse de la balle. La distance des fils a et b étant connue, on a donc une seconde mesure très précise de t , à laquelle on compare les résultats de la mesure électrique.

Dans ces expériences t était de l'ordre de 80 microsecondes et les mesures électriques étaient exactes à moins

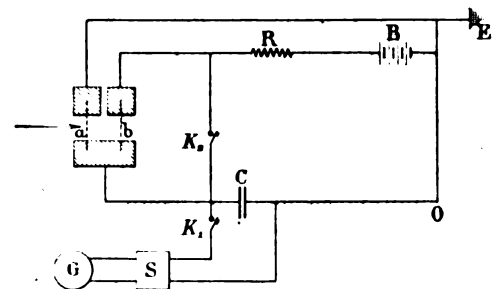


Fig. 1.

de 4 pour 100 près en général. Les erreurs proviennent de la difficulté d'obtenir l'ouverture et la fermeture des circuits avec précision, au début et à la fin de l'intervalle de

temps à mesurer. Klopsteg a pu réduire les erreurs à $\frac{1}{10}$ de celles signalées. Cette méthode de mesure des intervalles très courts est particulièrement utilisable en balistique, et dans l'étude de la propagation des explosions dans les explosifs. C. F.

(1) J.-J. DOWLING et D. DONNELLY. *Proceeding of the Royal Dublin Society*, février 1921, t. XVI, n° 15, p. 165-170, 2 000 mots, 2 fig.

SECTION INDUSTRIELLE

L'usine génératrice hydroélectrique de la Loue, à Mouthier

Dans cette étude, l'auteur donne une description de la station génératrice hydroélectrique de Mouthier-sur-la-Loue, dont la puissance totale pourra être portée à 16 000 ch. Il y a lieu de remarquer, notamment au sujet de l'aménagement hydraulique, que la plupart des ouvrages et, en particulier, le canal d'aménée, sont entièrement souterrains. Cette disposition a permis de faire fonctionner le canal en charge ; de plus, une partie notable de ce canal peut servir de réserve.

I. Introduction. — La Société des Forces motrices de la Loue. — La Société des Forces motrices de la Loue fut fondée en 1913, au capital de 70 000 fr que plusieurs augmentations successives portèrent au chiffre actuel de 8 000 000 fr. Le but principal de cette société était d'aménager et d'utiliser la chute de Mouthier, mais les difficultés rencontrées l'obligèrent à le différer.

La société absorba successivement la société de la Haute-Loue, en formation, la Société Loue-Lizon, la Compagnie électrique du Jura et le secteur de Levier. Ces réseaux étaient alimentés par les usines de Ouhans-de Nans-sous-Sainte-Anne, de Champagne-Loue et de Nozeroy (Myon et Lizine), fournissant du courant alternatif à une tension de 10 000 v et à une fréquence de 50 p : s.

Ce n'est que vers 1916 que la société put songer à l'aménagement de la chute de Mouthier. Commencée en 1917 et actuellement terminée, elle permet de disposer d'une puissance de 12 000 ch, répartie en trois groupes. L'adjonction d'un quatrième groupe, dont on a, lors des travaux, ménagé les fondations et monté l'appareillage, permettra, dès que le besoin s'en fera sentir, de porter la puissance de l'usine à 16 000 ch.

Produit à une tension de 5 500 v, le courant est transformé, au poste élévateur de Mouthier, en courant à 10 000 v et à 60 000 v.

Ainsi qu'on peut le voir sur le plan général du réseau de distribution (fig. 1), le courant à 10 000 v alimente le village de Mouthier, la vallée de la Loue et les plateaux voisins.

Le courant à 60 000 v est amené par lignes aériennes aux postes abaisseurs de Besançon et Pontarlier qui assurent la distribution « force-lumière » de ces deux villes et des régions avoisinantes.

Actuellement les réseaux atteignent 50 km pour les lignes à 60 000 v et 300 km pour celles à 10 000 v. Un projet d'extension de ces réseaux est à l'étude.

La Loue. — La Loue est une résurgence alimentée, d'une part, par les pertes du Doubs et les pertes du Drugeon et, d'autre part, par un certain nombre de bassins fermés et de vastes plateaux perméables.

Filtrant à travers le calcaire percé et fissuré qui constitue le sous-sol de la région, ces eaux se réunissent en une rivière souterraine qui, un peu avant de sortir au jour, se divise en plusieurs biefs.

L'un, le plus important, jaillit au pied d'un rocher à pic d'une centaine de mètres de hauteur et constitue la source principale de la Loue (fig. 2). Les autres jaillissent un peu en aval, dans le lit même de la rivière, et constituent un apport au moins égal à la moitié du débit fourni par la source.

La Loue, ainsi constituée, coule dès lors dans les gorges très encaissées de Noailles et après une série de cascades (dont la plus importante, le Grand Saut, a été utilisée pour l'usine provisoire) atteint le village de Mouthier en amont duquel se trouve l'usine génératrice (fig. 3).

En raison même de son origine, la Loue est sujette à des crues très brusques et très fréquentes, consécutives aux fortes pluies. Le débit maximum est alors d'environ 220 m³ : s. Par contre, cette origine assure à la Loue un débit d'étiage relativement élevé et notablement supérieur à celui des rivières voisines.

Les jaugeages effectués en 1920 et 1921 accusent un débit semi-permanent de 6,6 m³ : s et un débit d'étiage de 2,4 m³ : s. Ce dernier chiffre correspond à la période très sèche de 1920, à un moment où presque toutes les rivières de la région (en particulier le Doubs en aval des pertes) étaient tombées à un débit presque nul. Il y a donc lieu de considérer le débit de 2,4 m³ : s comme une limite très inférieure. La courbe de régime de cette rivière, pendant une année est représentée sur la figure 4.

Conditions générales d'aménagement. — Les principales caractéristiques de la chute sont les suivantes :

| | |
|------------------------------|-----------------------|
| Hauteur de chute brute..... | 129 m |
| Hauteur de chute nette | 122 m |
| Débit aménagé..... | 12 m ³ : s |
| Puissance installée..... | 12 000 ch |

Ces caractéristiques permettent d'obtenir une énergie théorique annuelle disponible de 48 000 000 kw-h.

Les différentes installations sont situées sur les communes de Ouhans (barrage, prise d'eau, partie haute du canal) et de Mouthier (partie basse du canal, conduites forcées, usine génératrice et poste), et ont été exécutées par la Société générale d'Entreprises de la rue du Faubourg Saint-Honoré, à Paris.

Le barrage est établi à 300 m environ en aval de la source ; il permet ainsi d'utiliser les débits de la source et des apports en aval. De plus, il est installé de telle

sorte que le remous ne gêne pas le fonctionnement de l'ancienne usine de Ouhans, d'une puissance de 1150 ch que l'on pourra ainsi mettre en parallèle avec la nouvelle usine aux heures de pointe.

Ce barrage crée, en tenant compte du volume du canal d'aménée, une réserve de 17 500 m³ environ, correspondant à 4 330 kw-h.

La prise d'eau, située sur la rive gauche, est constituée par deux galeries dont la réunion constitue le ca-

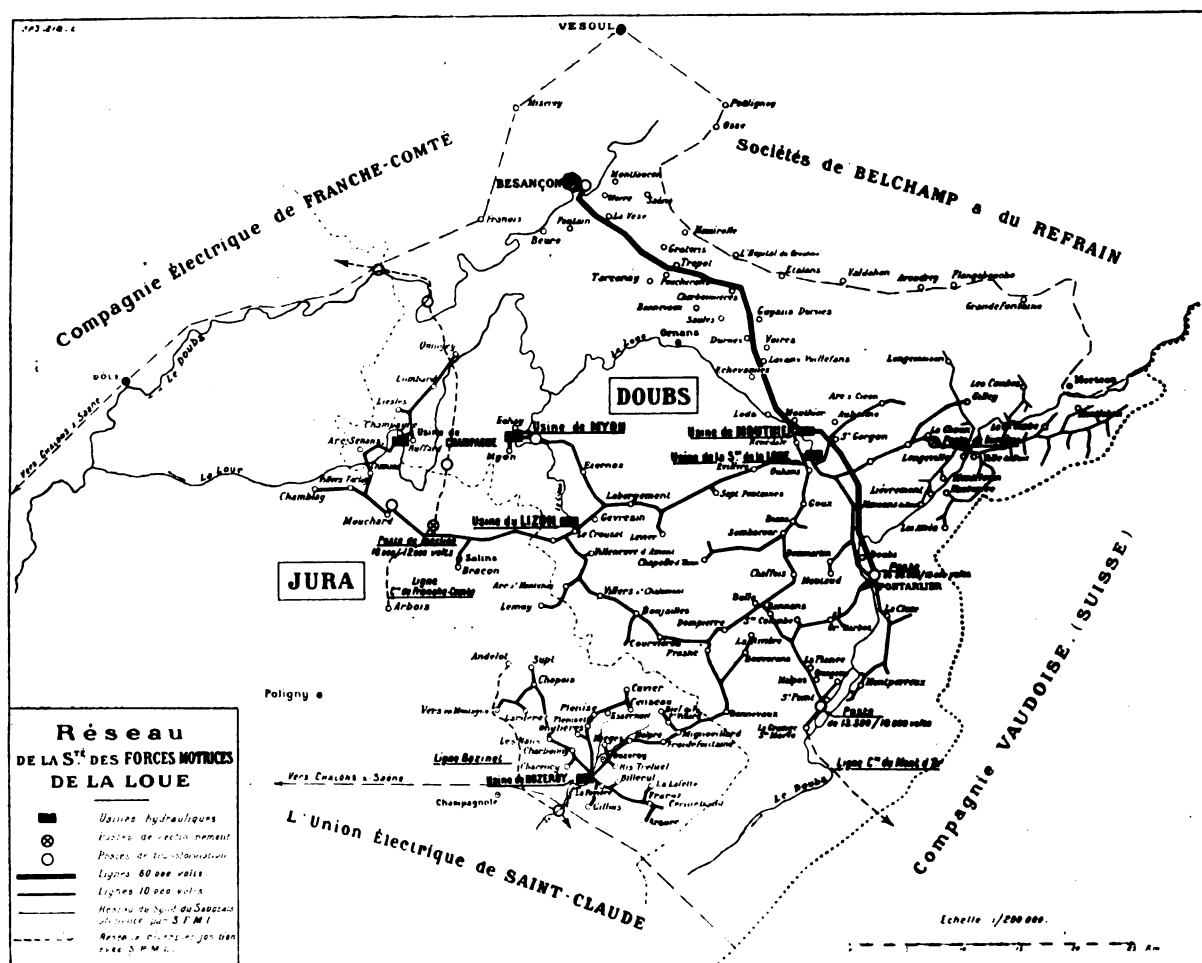


Fig. 1. — Carte du réseau de la Société des Forces motrices de la Loue.

nal d'aménée. Ce canal qui fonctionne en charge est entièrement souterrain et présente une longueur développée de 2 155 m. A l'extrémité aval, il se raccorde avec une chambre d'expansion inférieure également souterraine, de section croissante. De là partent, en haut la cheminée d'équilibre aboutissant à la chambre supérieure d'expansion, en bas le puits constituant la liaison avec les conduites forcées. Les chambres d'expansion inférieure et supérieure sont destinées à amortir les oscillations produites dans le canal et dans le puits, en cas d'arrêt brusque des turbines.

Au nombre de deux, les conduites forcées sont en tôle d'acier et aboutissent chacune à une extrémité d'un collecteur avec lequel elles constituent une boucle fermée. Du collecteur, placé sur une plate-forme derrière l'usine, partent quatre tubulures verticales assurant l'alimentation des groupes générateurs.

L'usine, établie sur la rive gauche, est reliée au poste de transformation construit sur la rive droite, ainsi qu'on a pu s'en rendre compte sur la figure 3, par un pont à deux arches en béton. Un chemin à flanc de coteau relie l'usine à la route Nationale, n° 67.



Fig. 2. — Source de la Loue.



Fig. 3. — Poste de transformation et usine sur la Loue en amont de Mouthier.

II. Description des ouvrages. — Barrage. — Le barrage, de profil trapézoïdal et du type submersible, est construit en béton de ciment avec un couronnement en moellons d'appareil. Il est fondé, à faible profondeur, sur le roc calcaire qui constitue le lit de la rivière; sur les rives, il est ancré dans les flancs également rocheux de la vallée (fig. 5).

L'étanchéité du barrage a été obtenue par l'exécution d'un enduit de ciment lissé sur la face amont et par des injections de ciment dans le corps de l'ouvrage.

La lame déversante a 29,25 m de largeur; la hauteur entre le niveau de fondation et la crête du barrage est de 9,70 m, la crête étant arasée à la cote 516,30. Le parement amont est vertical; le parement aval a

une pente moyenne de 53,7 pour 100. Il se continue par un coursier se levant en un seuil destiné à constituer un matelas d'eau; cette disposition permet d'éviter l'affouillement que ne manquerait pas de causer la lame déversante au pied du barrage.

La vanne de chasse, située sur la rive gauche, a 1,85 m de hauteur et 1,50 m de largeur. Le couronnement du massif où elle est encastrée constitue la plate-forme de manœuvre commune aux vannes de chasse et de prise.

La plate-forme a été arasée à la cote 519,50, supérieure de 0,30 m au niveau prévu en cas de crue maximum (lame de 2,90 m correspondant au débit de 220 m³ : s).

Un système de flotteurs étagés, obturant ou décou-

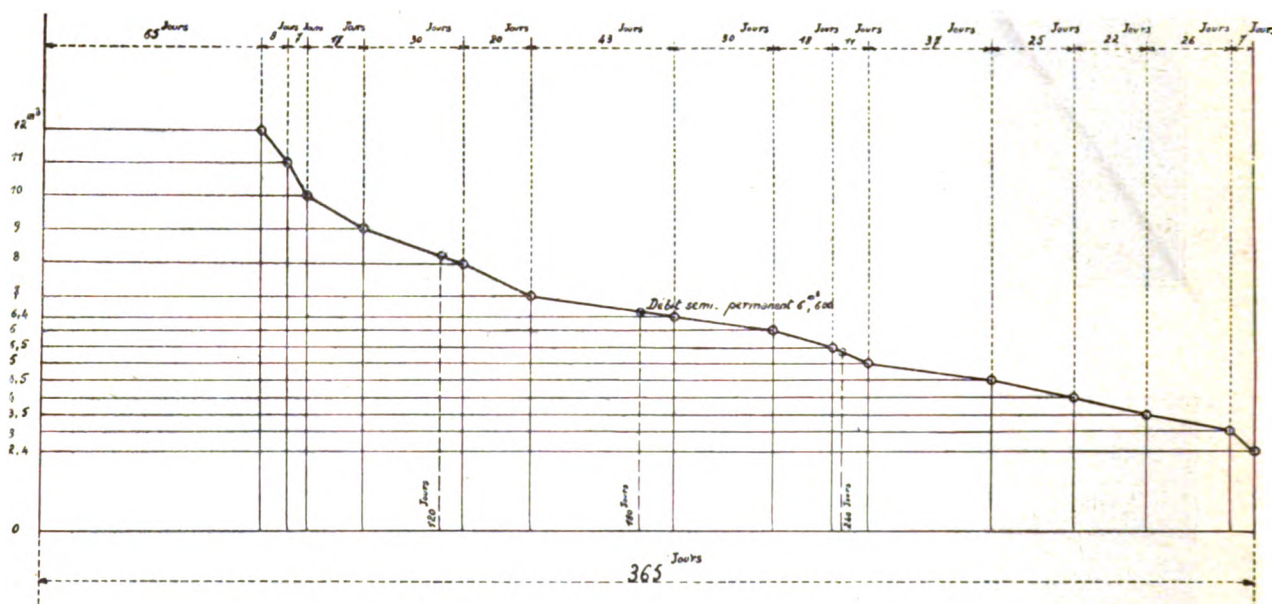


Fig. 4. — Courbe de régime de la Loue, du 1^{er} janvier au 31 décembre 1920.

vrant l'orifice de tuyaux traversant le barrage, permet d'assurer automatiquement un débit de 300 litres par seconde à la partie de la Loue, comprise entre le barrage et le canal de fuite.

Prise d'eau. — La prise d'eau, ménagée sur la rive gauche (fig. 6), comporte deux galeries dont la réunion constitue le canal d'aménée.

Chaque galerie est munie d'une vanne de 1,85 m, \times 1,50 m manœuvrée à la main et d'une grille de protection de 5 m \times 3,30 m à barreaux de 10 mm espacés de 30 mm.

La faible surface de la retenue ne laissant pas craindre l'obstruction des grilles par les feuilles a permis de les immerger; on a pu ainsi abaisser le seuil de prise à la cote 510,60 et porter au maximum la réserve utilisable. On a eu soin, cependant, de placer les grilles en avancement de la plate-forme de façon

qu'il soit possible, exceptionnellement, de les nettoyer sans arrêter la marche de l'usine.

Canal d'aménée. — Entièrement souterrain, le canal d'aménée a une longueur développée de 2 155 m et une pente moyenne de 2 mm : m. Il fonctionne en charge, ce qui assure à l'exploitation une plus grande souplesse, une partie notable du canal pouvant servir de réserve. La section est de 6,08 m², ce qui, pour le débit maximum de 12 m³ : s, correspond à une perte de charge de 1,01 mm : m; la pente donnée, permettra d'assurer l'écoulement puisqu'elle est supérieure.

Le percement du souterrain fut effectué par 7 fenêtres prenant jour sur le flanc gauche de la vallée.

La section moyenne excavée est de 8,50 m²; le terrain rencontré a été presque exclusivement du calcaire fissuré.

Le revêtement a été effectué en béton au mortier de

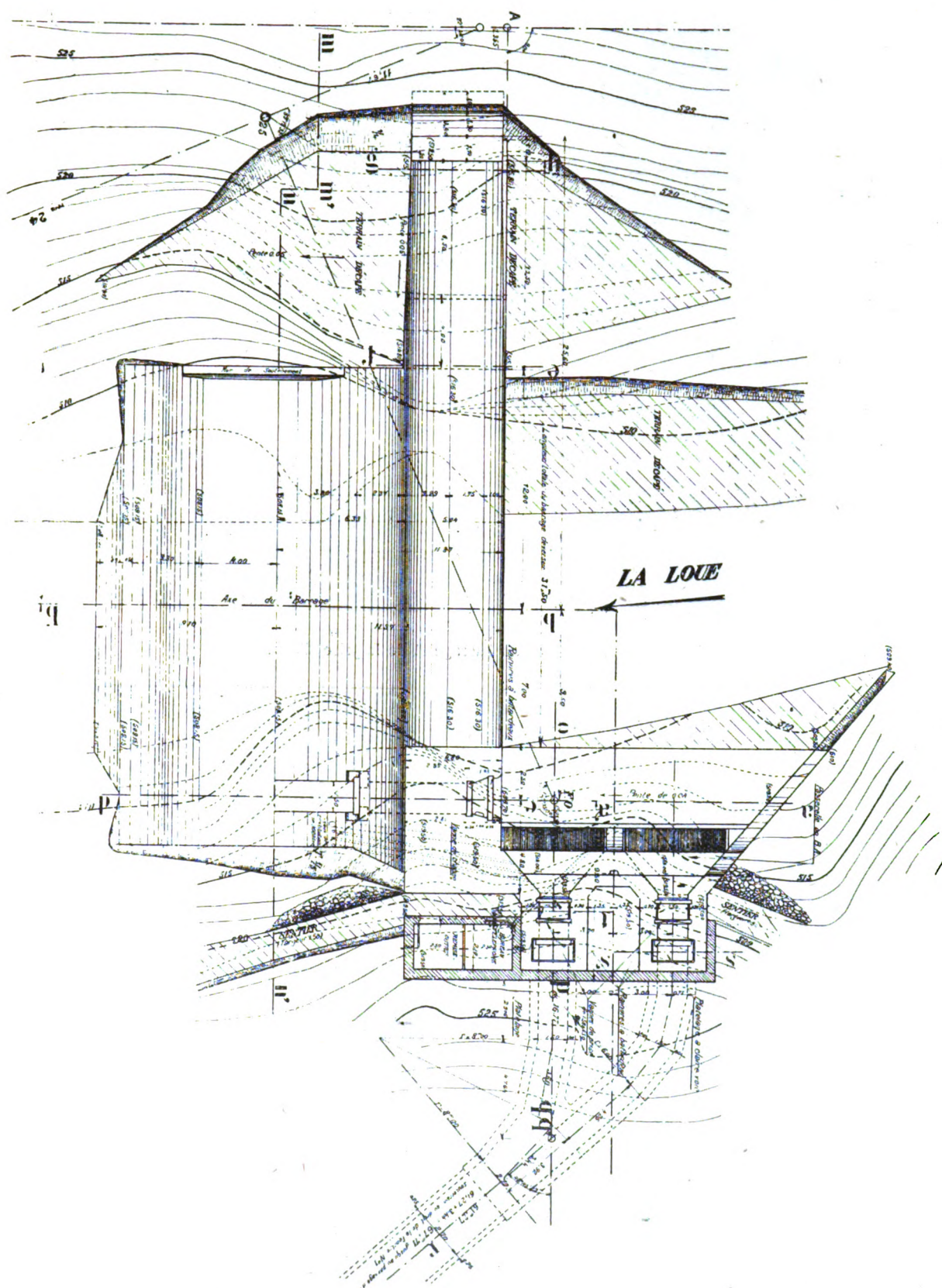


Fig. 5. — Vue en plan du barrage et de la prise d'eau de l'usine de Mouthier sur la Loue.

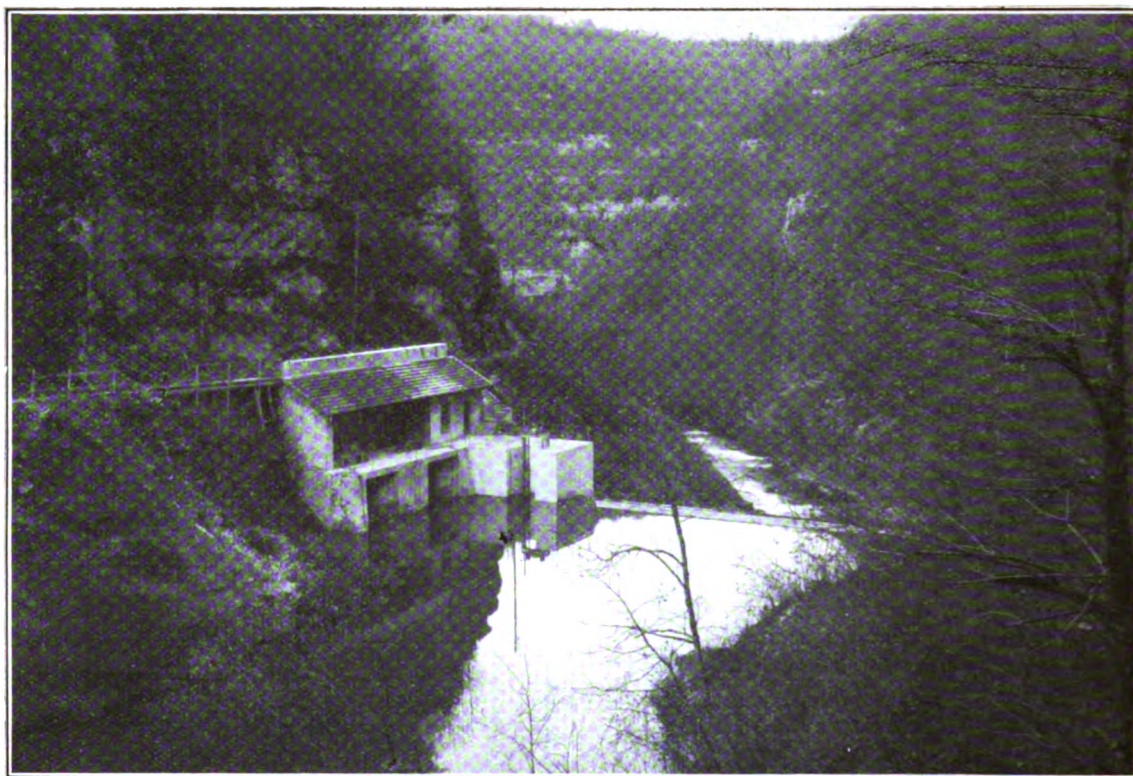


Fig. 6. — Vue amont du barrage et de la prise d'eau.

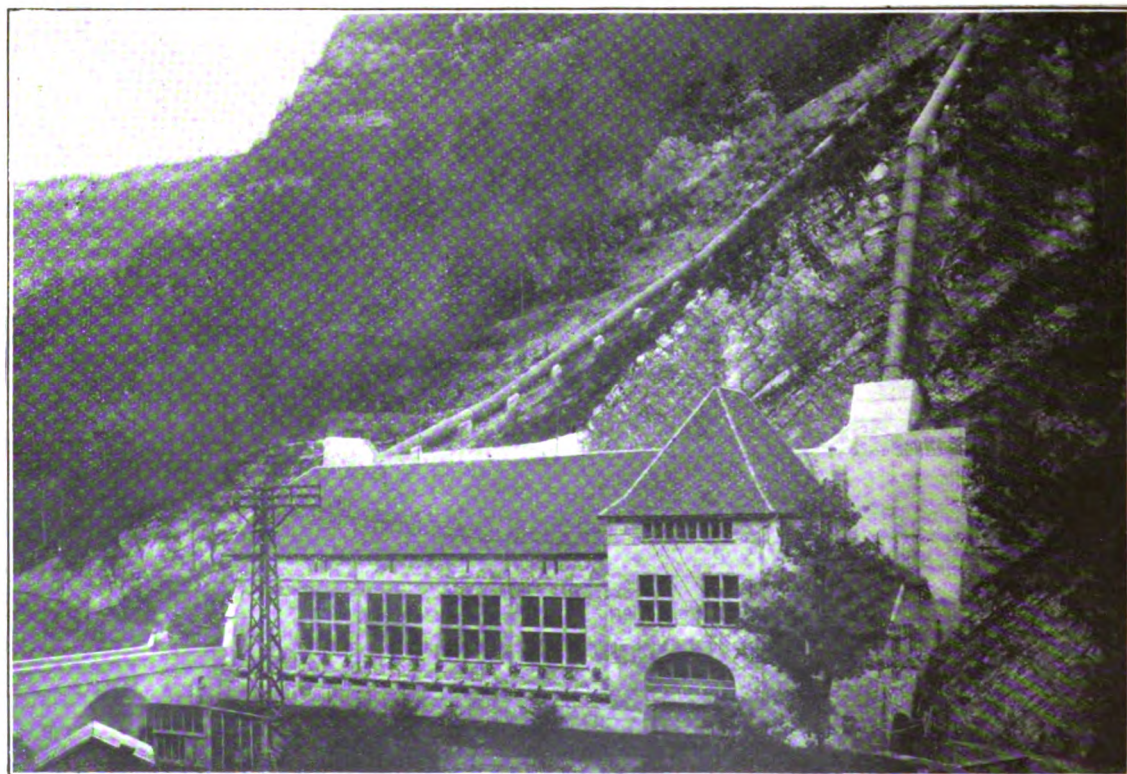


Fig. 7. — Vue de la façade principale de l'usine génératrice de Mouthier.

ciment, bloqué contre le rocher et soigneusement pilonné. L'épaisseur minimum de ce revêtement (atteinte en quelques points seulement) est de 0,25 m. Un enduit lisse de ciment de 0,02 m recouvre toute la surface.

L'exécution du souterrain présenta un certain nombre de difficultés dues à la nature du terrain. On ne parvint à les vaincre qu'après de nombreux essais.

Le roc calcaire est, en effet, fissuré et percé de nom-

breuses grottes souterraines. Il se produisait après les grandes pluies des venues d'eau subites et parfois considérables, jaillissant en des points absolument inattendus et jusque-là très sains. L'une de ces sources, particulièrement importante, fut dérivée au moyen d'un aqueduc (entre les fenêtres 6 et 7). D'autres, situées au voisinage des fenêtres 2 et 4 furent drainées et évacuées à travers le bouchon maçonné de la fenêtre.

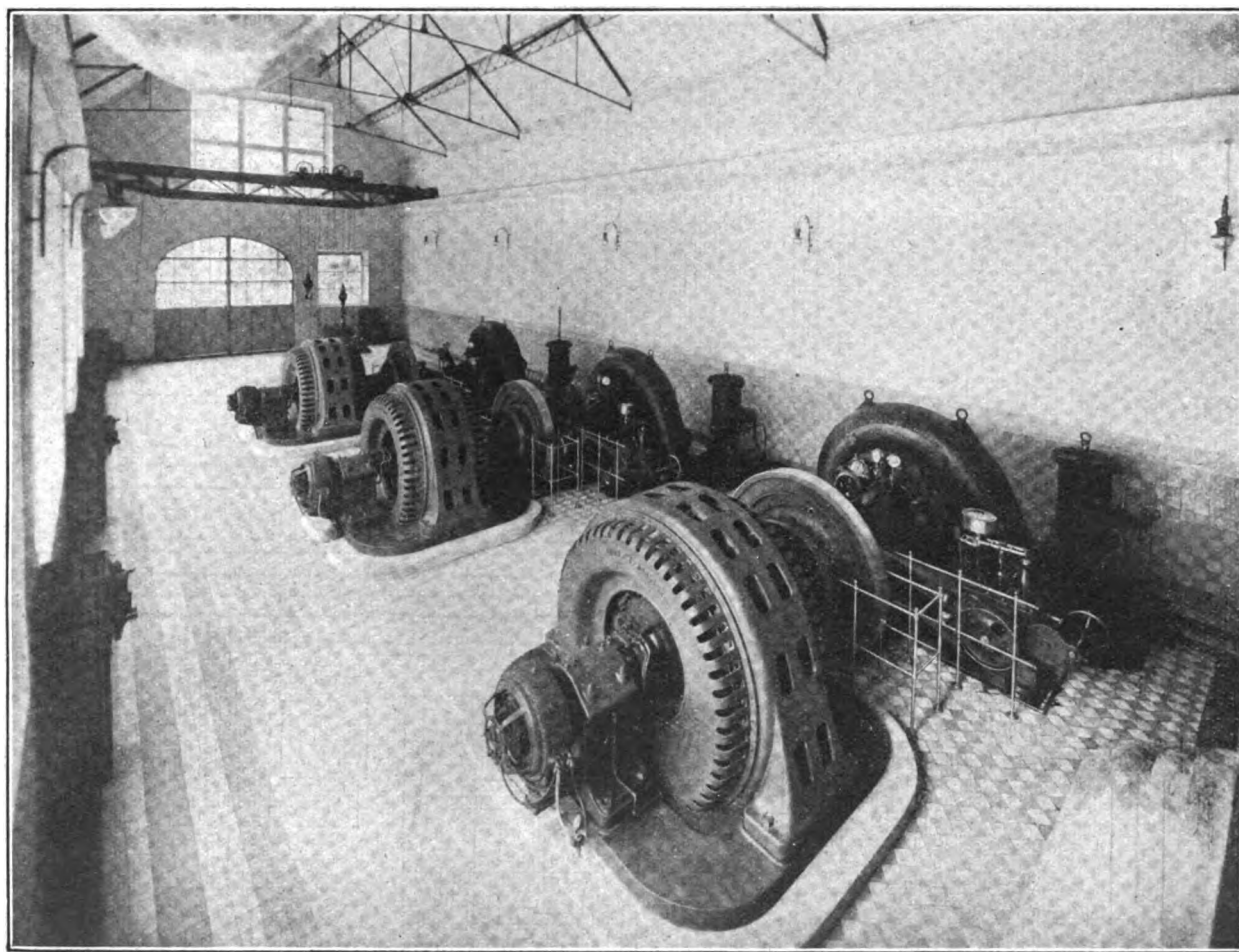


Fig. 8. — Vue intérieure de la salle des machines.

Construit en béton non armé, le canal étant en charge devait pouvoir résister à la pression intérieure et travailler à l'extension. Il y eut donc lieu d'assurer entre le rocher et la maçonnerie un contact absolument parfait et l'on décida, pour obtenir ce résultat, de procéder à des injections sous pression.

Des trous, assez rapprochés et percés jusqu'au rocher, ayant été ménagés à travers le béton, particulièrement en calotte, et aux naissances, on y injecta un mélange liquide en parties égales de sable et de ciment. L'opération menée avec trois pompes Buignet et une pompe à air comprimé fut exécutée en deux fois;

une première série fut faite sous une pression de 4 kg : cm², une seconde à la pression de 6 kg : cm². On arriva ainsi à assurer une compacité complète et à boucher les vides en calotte qu'avait pu causer le retrait inévitable du béton.

Au voisinage de l'aqueduc de dérivation et plus en aval, dans une région d'éboulis, les injections furent inefficaces : le mélange ciment sable traversait le béton et le rocher sans y rester; on procéda à la construction, en chacun de ces points, d'une gaine en béton armé d'une double armature.

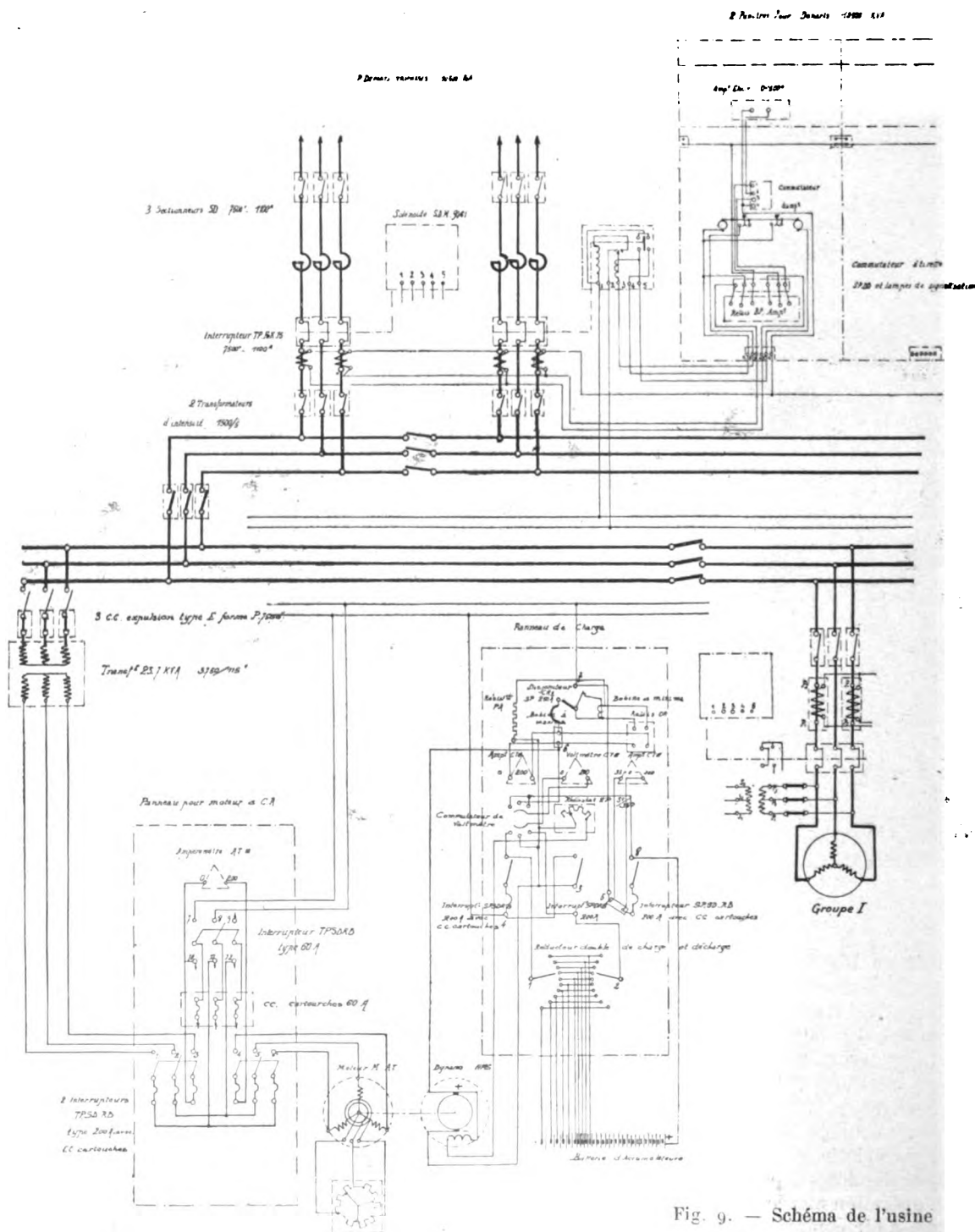
Ainsi achevé, le canal, mis en charge en juillet 1921,

a fonctionné normalement sans qu'on ait découvert la moindre fuite.

Chambre d'expansion inférieure. — A sa partie aval, le canal d'amenée aboutit à une chambre d'expansion souterraine, longue de 50 m et dont la section

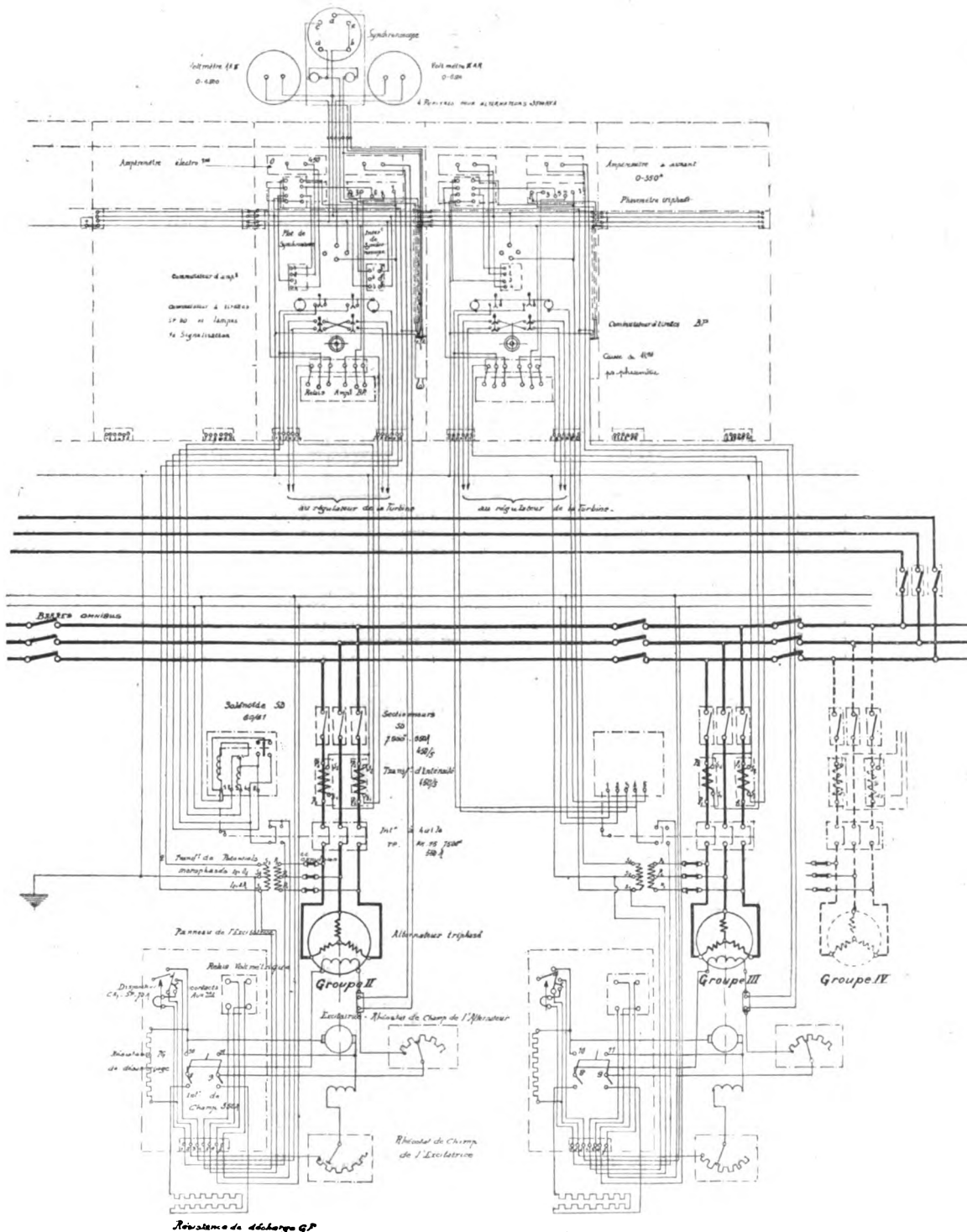
augmente régulièrement d'amont en aval, de 15 à 17 m². Elle amortit, pour le canal, les oscillations dues aux arrêts brusques.

Construite en béton de ciment recouvert d'un enduit de ciment lissé de 2 cm, la chambre d'expansion a été injectée comme il vient d'être dit pour le canal d'ame-



née. Proportionnellement aux injections de ce dernier (faites avec les mêmes appareils et à la même pression), les injections de la chambre inférieure ont absorbé

peu de matériaux. Ceci semble tenir au fait que la chambre inférieure est, avec le puits, la seule partie souterraine percée en rocher compact et sans fissures.



génératrice de Mouthier.

Cheminée d'équilibre. — A l'extrémité de la chambre d'expansion inférieure s'élève verticalement la che-

minée d'équilibre, de 4 m de diamètre, qui débouche, à la cote 517,60 dans une chambre d'expansion supé-

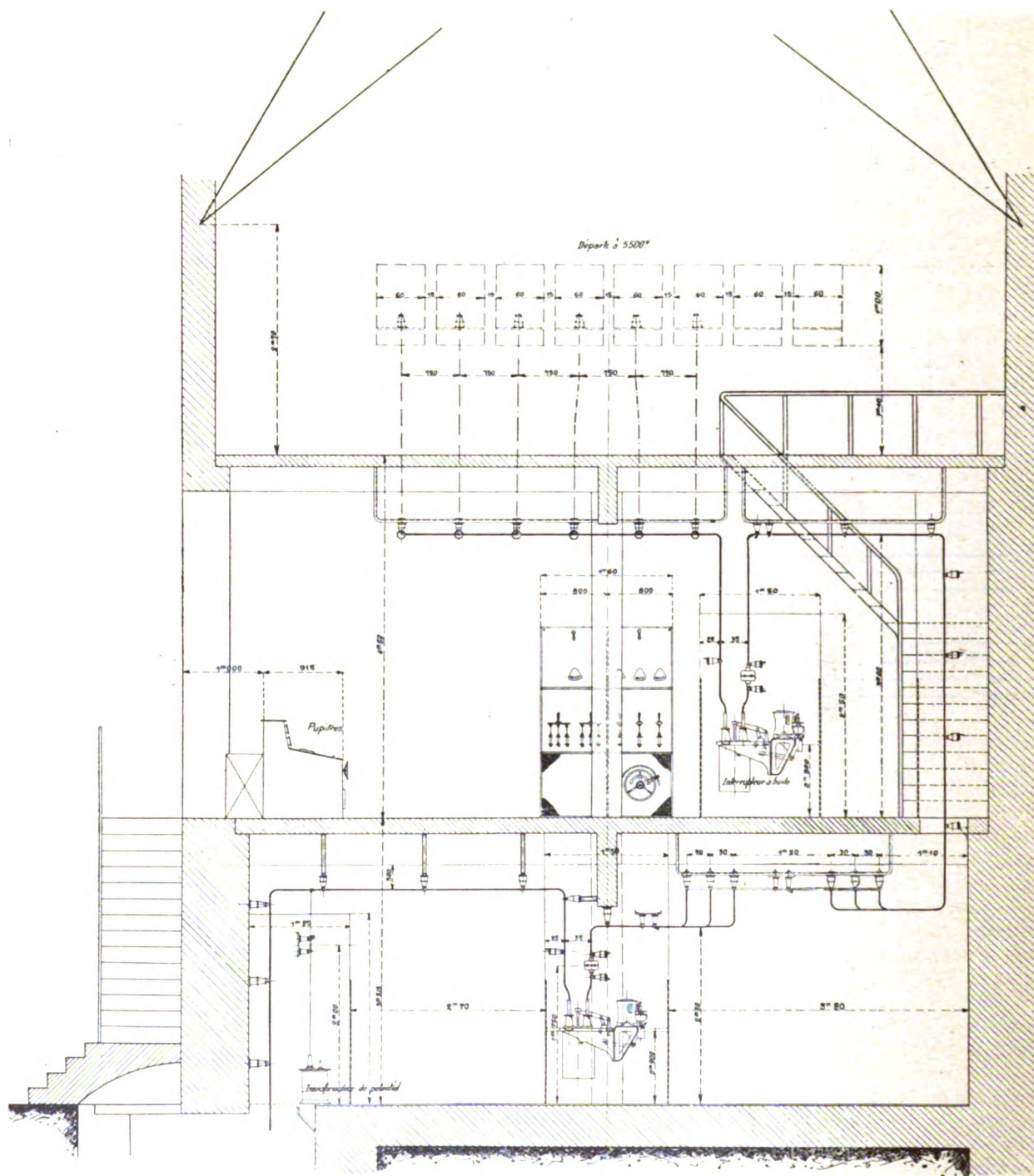


Fig. 10. — Coupe transversale côté tableau de l'usine de Mouthier.

rieure, presque complètement souterraine et partiellement revêtue.

Cette chambre, de 100 m de longueur et 4 m de large, est suffisamment vaste pour absorber les volumes

d'eau élevés lors des arrêts brusques des turbines. Des ouvertures grillagées, percées dans la partie aérienne de la chambre, permettent la sortie de l'air, chassé par l'ascension de l'eau.

Une fosse de décantation avec clapet de vidange a été aménagée, de façon que l'eau, en redescendant, n'entraîne pas de corps étrangers.

Puits. — La communication entre le canal d'amenée et les conduites forcées est assurée au moyen d'un puits vertical et d'une galerie horizontale de 6 m² de section, revêtus en béton de ciment. La charge considérable correspondant à une hauteur de 42 m d'eau par rapport à la partie inférieure, a nécessité de compléter ce revêtement par un gainage armé d'une double armature, gainage calculé pour supporter, à lui seul, la pression de l'eau. Il y eut lieu, cependant, de rendre le béton étanche à la pression d'eau extérieure pour éviter des décollements d'enduits et l'on procéda à des injections. La galerie horizontale se raccorde aux conduites forcées à l'intérieur d'un important massif de béton armé et injecté.

Conduites forcées. — Les conduites forcées, au nombre de deux, fournies par les Etablissements Bouchayer et Viallet, de Grenoble, ont 1,40 m de diamètre et sont en tôle d'acier d'épaisseur graduellement croissante du

haut vers le bas (de 9 à 13 mm). Les tronçons supérieurs sont rivés sur environ 12 m; le reste des conduites est soudé. Solidement ancrées en haut et en bas dans d'importants massifs de béton, les conduites reposent sur de petits massifs intermédiaires.

A sa partie supérieure, chaque conduite est munie d'un robinet-vanne à commande à main, d'une vanne-papillon et d'une ventouse. Ce dernier appareil est destiné à assurer automatiquement la sortie ou l'entrée de l'air, au moment du remplissage et de la vidange des conduites.

La vanne-papillon isole automatiquement le puits des conduites en cas de rupture de ces dernières ou, d'une façon générale, quand la vitesse de l'eau y devient trop grande.

Cette vanne est constituée par une lentille tournant autour d'un axe disposé suivant un diamètre de la conduite. L'extrémité de l'axe porte une roue reliée, d'une

part, à un contrepoids et, d'autre part, à un treuil. Les deux actions se compensent normalement et c'est le déclanchement du treuil qui libère le contrepoids et assure la fermeture.

Ce déclanchement est obtenu électriquement depuis l'usine ou automatiquement par la vitesse trop grande de l'eau qui repousse un disque normal au courant et libère le cliquet d'arrêt du treuil.

Les conduites divergent à la chambre des vannes, et se raccordent en bas à chacune des extrémités d'un collecteur situé derrière l'usine. Les conduites et le collecteur constituent ainsi une boucle complète; un système d'obturateurs permet d'isoler l'une quelconque des conduites, l'usine étant alimentée par l'autre.

Le collecteur, de 1,40 m de diamètre et 16 mm

d'épaisseur, porte quatre tubulures verticales de 1 m de diamètre descendant à l'usine et assurant l'alimentation en eau des groupes. Trois de ces tubulures sont actuellement raccordées aux turbines; la quatrième, munie d'un joint plein, est en attente.

Des prises d'eau ménagées sur deux tubulures utilisent la chute pour assurer la distribution

d'eau au poste de transformation et à l'usine.

Usine génératrice. — L'usine située au bord de la Loue, sur la rive gauche, est adossée à la montagne (fig. 7). Construite en béton et couverte avec les petites tuiles employées dans le pays, elle a été étudiée avec soin au point de vue architectural. La vallée de la Loue étant un site classé, il y eut lieu, en effet, de souscrire à certaines conditions imposées par la Commission des Sites.

Cette usine comprend : la salle des machines, le pavillon des appareils électriques et une annexe qui contient le magasin et le bureau.

SALLE DES MACHINES. — La salle des machines représentée sur la figure 8, est très vaste et très claire. Elle mesure 32,40 m de longueur sur 12 m de largeur et est desservie par un pont roulant de 20 t comportant deux

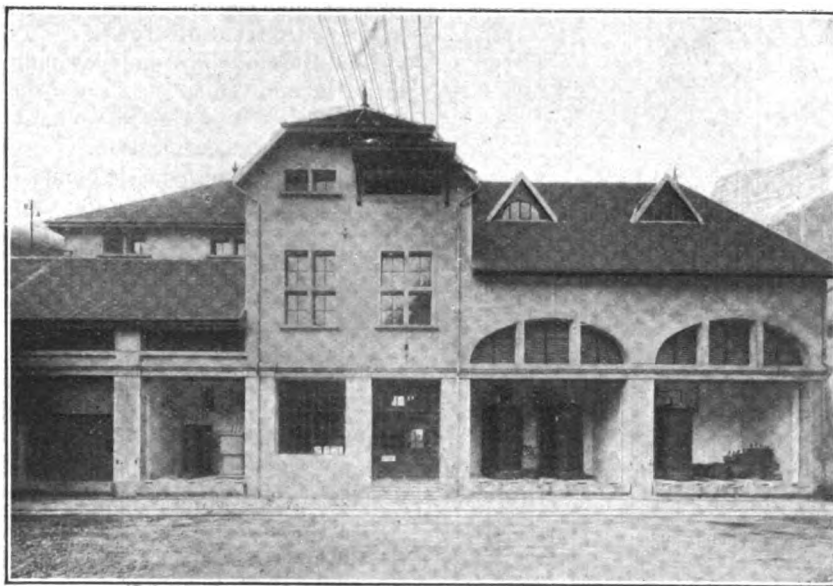


Fig. 11. — Vue de la façade principale du poste de transformation de Menthon-Verrier. Cellules pour les transformateurs.

chariots de 10 t chacun. Dans cette salle sont placés trois groupes générateurs (turbine-alternateur) ainsi que les tableaux de commande des excitatrices. L'emplacement a été prévu pour y adjoindre un quatrième groupe.

Le sous-sol de la salle constitue, du côté montagne, le canal de fuite qui, rectiligne sous l'usine, s'incurve à la sortie et rejoint la rivière. Du côté de la Loue, se trouve la galerie des barres-omnibus, également en sous-sol : elle contient les barres 5750 v amenant au tableau le courant des alternateurs.

PAVILLON DES APPAREILS ÉLECTRIQUES. — Le rez-de-chaussée du bâtiment des appareils électriques com-

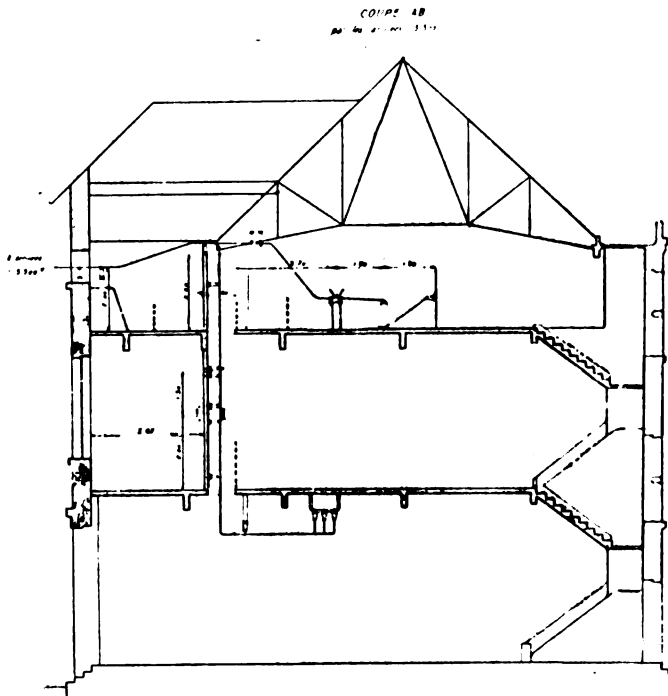


Fig. 12. — Vue en coupe, par les arrivées 5500 v, du poste de transformation.

prend la salle de la boucle et la salle des accumulateurs ; au premier étage se trouve la salle des pupitres qui prend vue par une large baie sur la salle des machines ; le deuxième étage est occupé par la salle des appareils de protection (parafoudres à cornes et résistances hydrauliques).

III. Description de l'équipement électrique. —

Équipement électromécanique. — Trois groupes générateurs sont actuellement en service. Chacun comprend une turbine et un alternateur reliés par manchon semi-élastique. Les arbres de la turbine et de l'alternateur, placés dans le prolongement l'un de l'autre, portent chacun un plateau muni de mannetons, reliés par une corde.

Turbines. — Les turbines du type Francis, à bêche spirale, ont été fournies par la maison Neyret-Beylier et Piccard-Pictet de Grenoble. Tournant à une vitesse de rotation de 750 t : mn, elles développent une puissance sur l'arbre de 4000 ch avec un débit absorbé de 3120 litres par seconde.

Chacune d'elle peut être isolée de la tubulure d'arrivée d'eau au moyen d'un robinet-vanne facilement manœuvrable par le secours de la hauteur de chute.

Un régulateur à servo-moteur à pression d'huile peut réaliser la fermeture en six secondes. Le distributeur est commandé par un cercle de vannage extérieur mis ainsi à l'abri de l'action de l'eau. Les aubes directrices sont actionnées par l'intermédiaire de ressorts qui donnent plus de souplesse à la manœuvre et permettent de réaliser la fermeture même si une ou plusieurs des aubes se trouvent obstruées.

Un diffuseur, placé dans le coude d'aspiration, régularise le mouvement de l'eau à la sortie ; il rend la marche plus uniforme en évitant les remous et les irrégularités de l'aspiration.

Le palier de charge et le palier de butée sont refroidis par une circulation d'huile.

Le volant, de 1,90 m de diamètre, sert pour la turbine de plateau d'accouplement, il est muni d'une frette en acier laminé.

Alternateurs. — Les alternateurs fournis par la Compagnie française Thomson-Houston sont du type à axe horizontal à pôles saillants avec excitatrice en bout d'arbre. Chaque alternateur comprend un socle en fonte sur lequel sont fixés deux paliers à rotule, à graissage par bagues, avec coussinets en fonte en deux pièces garnies d'antifriction. Le refroidissement de l'huile est assuré par une circulation d'eau, réglable à volonté.

Le rotor est composé de trois tourteaux en acier forgé, clavetés et emmanchés à la presse sur l'arbre. Les pièces polaires et les épanouissements feuilletés sont fixés sur les tourteaux par queues d'aronde et clavettes de bloquage.

Les enroulements inducteurs sont constitués par du méplat d'aluminium enroulé sur champ, dont les spires sont convenablement isolées entre elles. Ces enroulements inducteurs sont bloqués sur les tourteaux par les épanouissements polaires et les flasques des pièces polaires.

La ventilation de l'ensemble de la machine est assurée par les évidements de l'arbre et les cloisons ménagés entre les tourteaux ainsi que par des ailettes de ventilation fixées sur les faces extérieures des tourteaux extrêmes.

Le stator comprend une carcasse venue de fonte d'une seule pièce solidement nervurée avec pattes pour la fixation sur le socle et deux barres d'accrochage pour les manœuvres.

Le circuit magnétique du stator est composé d'un grand nombre de paquets de tôle, séparés par des

cloisons de ventilation, le tout fortement serré par des boulons.

Les encoches du stator sont ouvertes pour permettre la mise en place rapide des bobines enroulées sur forme et une queue d'aronde pratiquée en tête des encoches permet la fixation des enroulements dans leurs logements au moyen de cales de bois dur.

Le bobinage statorique est composé de bobines enroulées sur forme, disposées latéralement dans deux plans différents; chaque phase comprend quatre bobines, soit une bobine par paire de pôles et par phase.

Les conducteurs de l'enroulement statorique sont soigneusement isolés au papier micacé pour la tension de service de 5 500 v.

Le choix d'un nombre d'encoches approprié par pôle et par phase a permis d'obtenir une tension de forme sinusoïdale.

Enfin, les têtes des bobines sont parfaitement assujetties au stator par des brides de bloquage.

Chacun des trois alternateurs répond aux caractéristiques ci-après: tension normale, 5 500 v; fréquence, 50 p. s; puissance, 3 500 kv-a; vitesse de rotation, 750 t. mm,

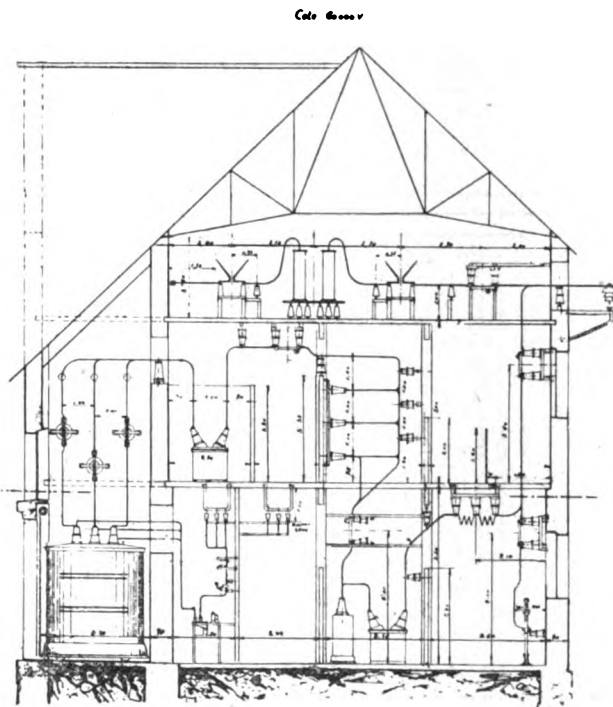


Fig. 13. — Vue en coupe du poste de transformation, côté 60 000.

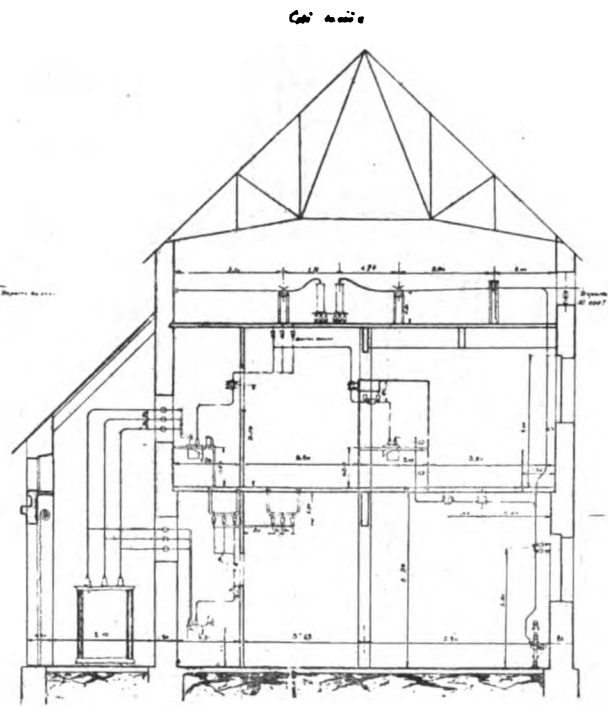


Fig. 14. — Vue en coupe du poste de transformation, côté 10 000 v.

Les rendements obtenus aux essais et garantis par le constructeur sont les suivants :

| cos φ | 1/2 charge. pour 100 | 3/4 charge. pour 100 | 4/4 charge. pour 100 |
|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | 92,5 | 94,5 | 95,5 |
| 0,8 | 91 | 93 | 94,5 |

La surélévation de la tension entre la marche en charge et la marche à vide est de 30 pour 100 pour un cos φ égale à 0,8 et de 15 pour 100 pour un cos φ égale à 1.

L'excitatrice, à pôles auxiliaires de commutation, alimente directement les inducteurs. Le réglage de la tension entre la marche à vide et la marche en pleine charge pour cos φ = 0,8 s'obtient en agissant unique-

ment sur l'excitation de l'excitatrice à l'aide d'un rhéostat de champ approprié.

Les groupes ont été essayés à l'emballement et se sont bien comportés; aucune déformation n'a été constatée.

Canalisation haute tension. — L'énergie produite par les alternateurs est transmise à la salle des appareils haute tension par une galerie aménagée pour contenir les barres-omnibus. Cette dernière, placée au sous-sol, passe devant les alternateurs, comme il est représenté sur le schéma de la figure 9, et aboutit à une trémie qui débouche dans la salle haute tension située au rez-de-chaussée, sous les pupitres de manœuvre. Le courant arrive à des disjoncteurs placés à la partie inférieure du bâtiment (fig. 10), qui protègent

chaque alternateur et permettent leur couplage sur la boucle. Cette dernière reçoit le courant des quatre

alternateurs prévus et alimente les deux départs de l'usine et le transformateur de service. Des section-

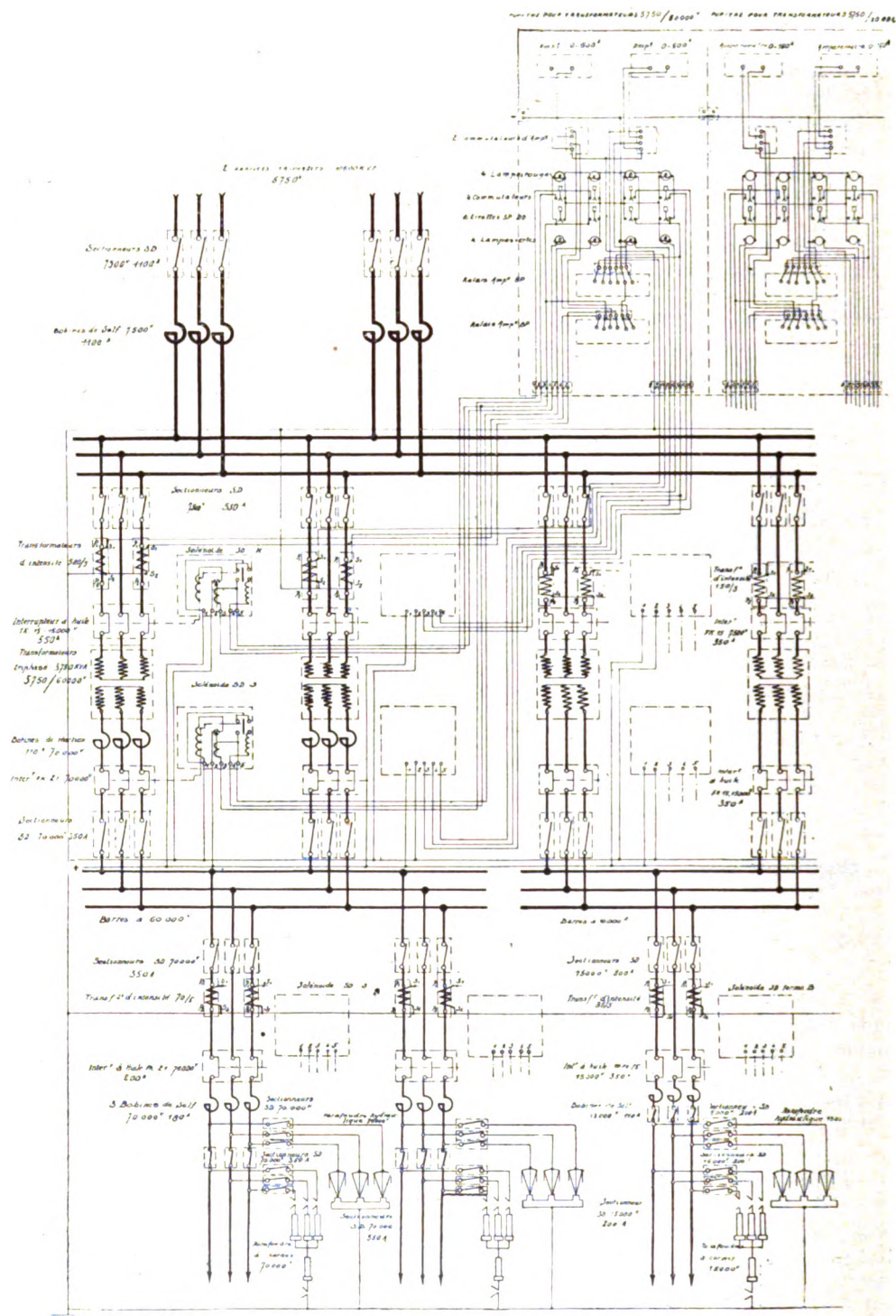
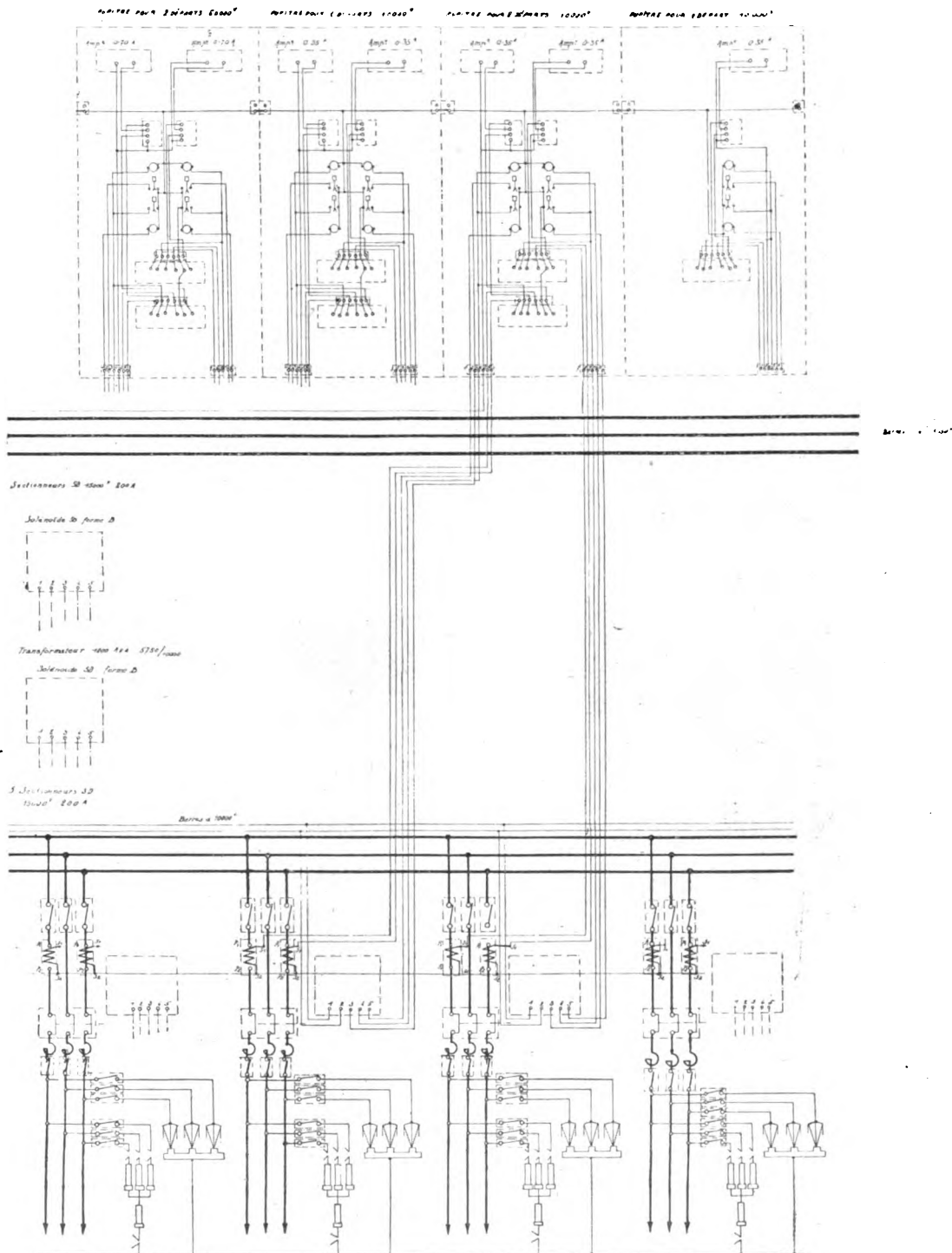


Fig. 15. — Schéma du poste

neurs, manœuvrés par perches isolantes, permettent d'isoler les machines, des départs et des transforma-

teurs à volonté. Chacun des départs aboutit, au premier étage, à des disjoncteurs placés dans la salle des pupitres.

De ces disjoncteurs les deux départs passent au deuxième étage et arrivent aux trémies d'où partent les lignes aériennes qui jonctionnent l'usine au poste élévateur de tension situé sur l'autre rive de la Loue.



de transformation de Mouthier.

Appareillage. — Dans la salle des machines et au droit de chaque alternateur se trouve placé le tableau d'excitation qui comprend : 1 interrupteur principal d'excitation ; 1 disjoncteur d'excitation de l'excitatrice

à maximum de tension ; 1 relais à maximum de tension ; 1 résistance de décharge ; 1 résistance de désamorçage.

En cas d'un abaissement brusque de la charge sur le réseau, la tension tend à croître aux bornes des alternateurs. Le relais voltmétrique fait alors déclancher le disjoncteur de la machine ; ce dernier porte un contact qui actionne l'électro du disjoncteur d'excitation

de l'excitatrice, lequel déclanche et insère dans le circuit d'excitation une résistance telle que l'excitatrice se désamorce. De la sorte, il n'y a pas lieu de craindre, même si la turbine s'emballe, une surélévation de la tension dangereuse pour l'alternateur.

Pupitres. — Toutes les manœuvres peuvent se faire des pupitres situés au 1^{er} étage, devant une large baie

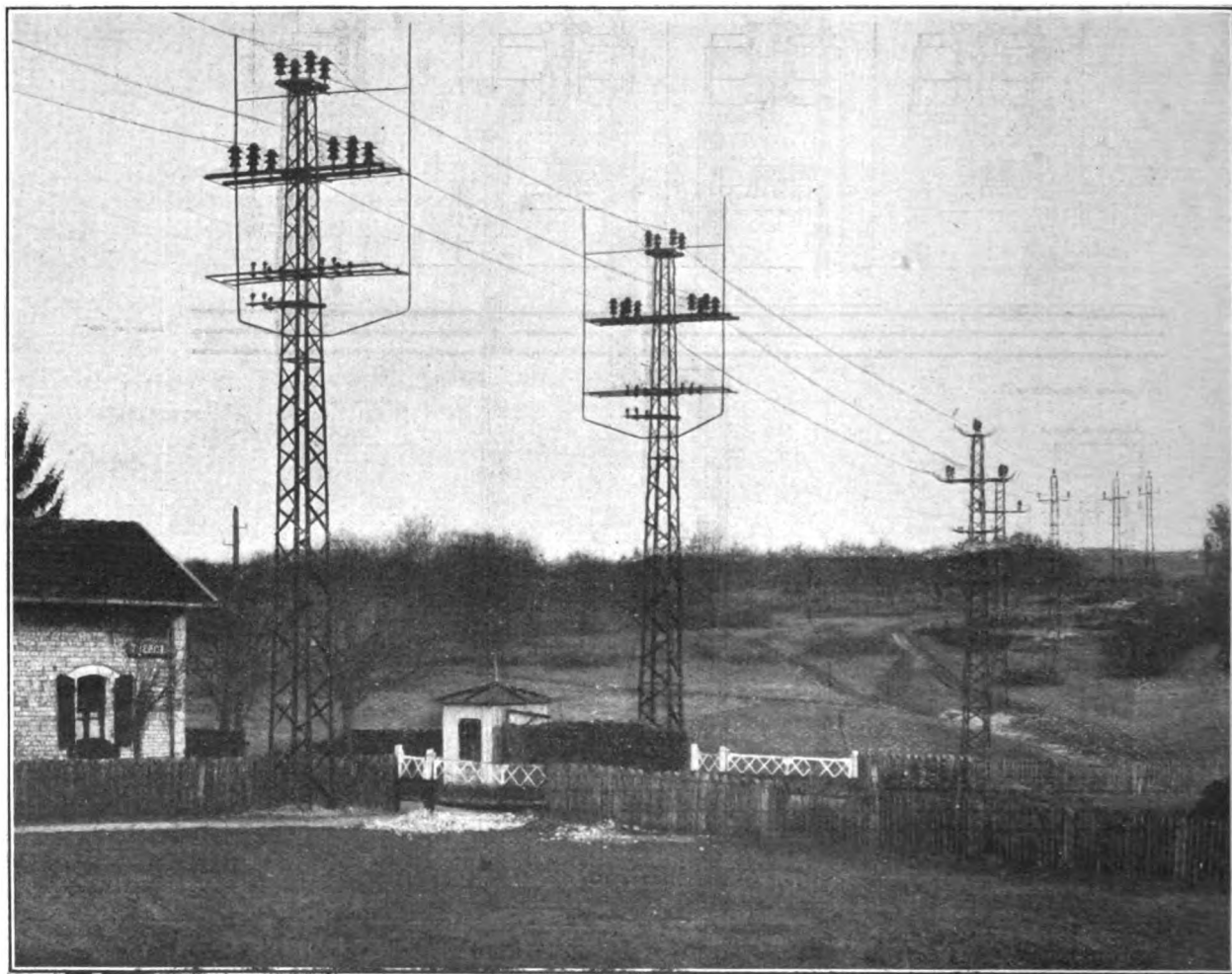


Fig. 16. — Vue de la ligne Mouthier-Besançon, comprenant une ligne pour courant triphasé à 60 000 v et trois lignes pour courant triphasé 10 000 v.

donnant sur la salle des machines, d'où l'on peut commander et surveiller les différentes opérations.

Sur les six pupitres, quatre correspondent aux machines et les deux autres aux départs. Une colonne de synchronisation portant les voltmètres, synchronoscopes et lampes de phase, placée sur le rebord du pupitre est disposée pour être vue du machiniste et de l'homme préposé au couplage des alternateurs.

Le pupitre de chaque alternateur comprend : 1 ampèremètre d'excitation ; 1 ampèremètre pour le

courant produit par l'alternateur ; 1 watmètre d'induction ; 1 phasemètre triphasé ; 1 commutateur de synchronisation à quatre trous ; 1 commutateur d'ampèremètre à trois directions ; 1 commutateur de voltmètre à quatre trous ; 1 tirette d'enclenchement avec lampe de signalisation ; 1 tirette de déclanchement avec lampe de signalisation ; 1 compteur totalisateur ; 1 volant pour la manœuvre à distance par pignons et chaîne galle du rhéostat d'excitation ; 1 relais ampèremétrique bipolaire à maximum d'intensité.

L'un des pupitres porte, en outre, le commutateur

du synchronoscope. Chacun des pupitres de départ comprend : 1 ampèremètre ; 1 commutateur d'ampèremètre à trois directions ; 1 tirette d'enclenchement avec lampe de signalisation ; 1 tirette de déclenchement avec lampe de signalisation ; 1 relais ampèremétrique bipolaire à maximum d'intensité.

Les disjoncteurs haute tension des machines et des départs sont commandés à distance par solénoïde de

manœuvre, solénoïde de déclenchement et relais d'enclenchement.

Le courant continu nécessaire à la manœuvre à distance des appareils, à la protection des machines et à l'éclairage de secours est produit par un transformateur à bain d'huile, de 24 kw, 5 750/115 v, qui alimente un groupe moteur générateur.

Ce dernier comprend un moteur asynchrone triphasé 115 v accouplé en bout d'arbre à une généra-

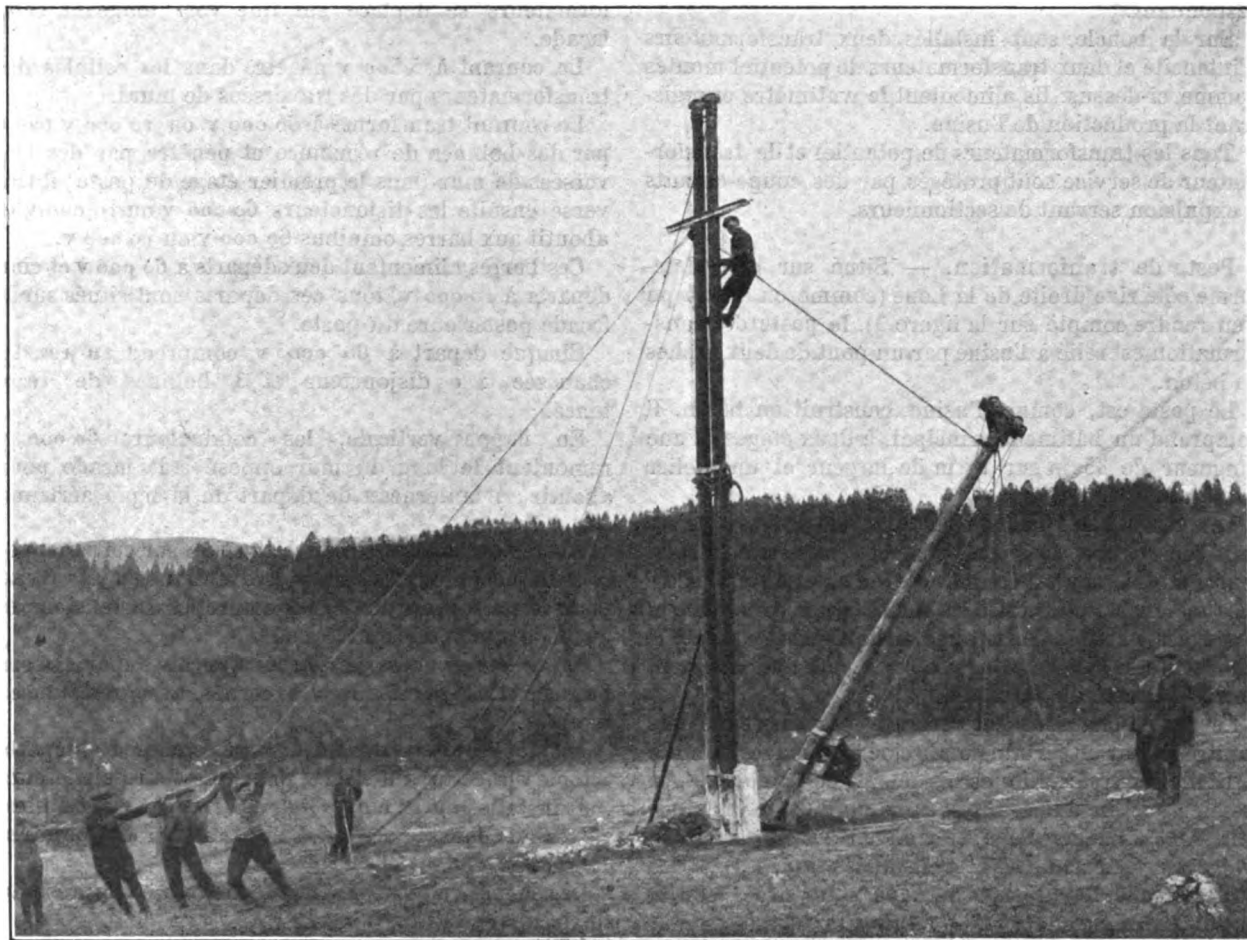


Fig. 17. — Montage d'un système de poteaux jumelés pour la construction de la ligne Mouthier-Pontarlier à 60 000 v.

trice shunt à tension variable, pouvant débiter un courant de 100 A sous une tension variant de 110 v à 160 v pour la charge d'une batterie d'accumulateurs.

Cette dernière, fournie par la Société des Accumulateurs fixes et de traction, est une batterie genre Edison à électrolyte alcalin. Elle possède la propriété remarquable de pouvoir fournir de très fortes intensités, cela en raison de sa capacité, sans aucun dommage pour les plaques.

Les caractéristiques de cette batterie sont : capacité en ampères-heure, 145 A-h ; intensité de charge, 42 A ; intensité à la décharge par à-coups, 150 A.

Le tableau de charge de cette batterie, installé dans la salle des pupitres de manœuvre, comprend deux panneaux.

Sur le premier, sont placés l'interrupteur avec coupe-circuits fusibles de transformateurs, l'interrupteur avec coupe-circuits du moteur du groupe moteur-générateur, le rhéostat de démarrage du moteur, l'inverseur avec coupe-circuits d'éclairage et les interrupteurs de commande des déclencheurs des vannes automatiques de fermeture des conduites. Ces derniers sont manœuvrés par le machiniste en cas de rupture des conduites, ou pour arrêter totalement l'usine en cas

d'accident. Sur le deuxième panneau se trouvent tous les appareils de charge et de décharge de la batterie d'accumulateur : ampèremètre, disjoncteur, relais ampèremétrique polarisé, interrupteur, inverseur, réducteur de charge et de décharge.

Enfin, sur les départs haute tension de chaque machine sont placés en série et en dérivation deux transformateurs d'intensité et deux transformateurs de potentiel montés en V avec point commun à la terre. Ils alimentent les circuits d'intensité et de tension correspondant.

Sur la boucle sont installés deux transformateurs d'intensité et deux transformateurs de potentiel montés comme ci-dessus. Ils alimentent le wattmètre enregistrant la production de l'usine.

Tous les transformateurs de potentiel et le transformateur de service sont protégés par des coupe-circuits à expulsion servant de sectionneurs.

Poste de tranformation. — Situé sur une plateforme côté rive droite de la Loue (comme on a déjà pu s'en rendre compte sur la figure 3), le poste de transformation est relié à l'usine par un pont de deux arches en béton.

Le poste est, comme l'usine, construit en béton. Il comprend un bâtiment principal, à deux étages, d'une longueur de 35 m sur 17 m de largeur et un atelier contigu.

Les cellules des transformateurs, au nombre de 4, sont desservies par un chariot porte-transformateurs, mobile sur un chemin de roulement qui pénètre jusque dans l'atelier. Situées sur la façade principale et protégées par des fermetures métalliques, comme le représente la figure 11, ces cellules sont complètement isolées du reste du bâtiment.

Le rez-de-chaussée est occupé par la salle des pupitres et par un certain nombre de disjoncteurs à huile et limiteurs hydrauliques 10 000 v et 60 000 v. Au premier, sont installées les barres-omnibus de distribution. Au deuxième étage, se trouvent les appareils de protection (parafoudres et résistances liquides) et les sorties. Tous les départs aériens sont situés sur la façade postérieure.

L'atelier, qui comporte un outillage assez complet (forge, machine à percer, meule, scie alternative) est desservi par un chariot-treuil de 15 t.

Usine et poste sont reliés à la route nationale n° 67 au moyen d'un chemin d'accès, établi à flanc de coteau et long d'environ 700 m.

La partie centrale du poste sert à la réception du courant à 5 500 v; l'aile gauche, à la transformation et aux départs à 10 000 v et l'aile droite, à la transformation et aux départs 60 000 v.

Les deux arrivées aériennes 5 500-5 750 v ainsi que les feeders continus et alternatifs de l'usine arrivent au deuxième étage du poste dans la partie centrale. A cet étage, sont installés en dérivation sur les lignes 5 500 v les parafoudres à cornes avec leurs résistances liquides. Les deux lignes à 5 500 v descendent en une nappe

verticale au premier étage où se trouvent placés les sectionneurs et les bobines de réactance de protection et viennent aboutir aux barres omnibus du rez-de-chaussée (fig. 12). Ces dernières fixées au plafond parcourent le bâtiment dans toute sa longueur pour alimenter, à l'aide de disjoncteurs, d'un côté les transformateurs 5 750/60 000 v et de l'autre les transformateurs 5 750/10 000 v. Les transformateurs sont logés par deux dans des cellules situées sur la façade principale du poste. Un chariot pour la manutention des transformateurs se déplace sur une voie longeant cette façade.

Le courant à 5 500 v pénètre dans les cellules des transformateurs par des traversées de murs.

Le courant transformé à 60 000 v ou 10 000 v passe par des bobines de réactance et pénètre par des traversées de mur dans le premier étage du poste; il traverse ensuite les disjoncteurs 60 000 v ou 10 000 v et aboutit aux barres omnibus 60 000 v ou 10 000 v.

Ces barres alimentent deux départs à 60 000 v et cinq départs à 10 000 v, tous ces départs sont situés sur la façade postérieure du poste.

Chaque départ à 60 000 v comprend au rez-de-chaussée : 1 disjoncteur et 3 bobines de réactance.

En nappe verticale, les conducteurs 60 000 v remontent le long du mur opposé à la façade pour aboutir au lanterneau de départ de la ligne aérienne (fig. 13).

Au rez-de-chaussée et en dérivation sur cette nappe, sont branchés des limiteurs hydrauliques à jets d'eau pour la protection des lignes contre les surtensions et les décharges atmosphériques.

Au 2° étage et en dérivation sur les départs, sont branchés les parafoudres à cornes avec résistances liquides.

Les départs 10 000 v sont disposés comme les départs 60 000 v à cette différence près que les disjoncteurs sont installés au 1^{er} étage (fig. 14). L'espace laissé libre au rez-de-chaussée a servi à l'installation des pupitres de manœuvre.

Le schéma du poste de transformation est représenté sur la figure 15.

Pupitres. — Les pupitres de manœuvre sont au nombre de 6 : 2 pour les transformateurs, 4 pour les départs.

Chaque pupitre est prévu pour 2 transformateurs et comprend : 2 ampèremètres ; 2 commutateurs d'ampèremètre à 4 directions ; 2 tirettes d'enclenchement avec lampes de signalisation ; 2 tirettes de déclenchement avec lampes de signalisation ; 2 relais bipolaires ampèremétriques à maximum d'intensité.

Les pupitres des départs comportent chacun : 2 ampèremètres ; 2 commutateurs d'ampèremètre à 4 directions ; 2 tirettes d'enclenchement avec lampes de signalisation ; 2 tirettes de déclenchement avec lampes de signalisation ; 2 relais bipolaires ampèremétriques à maximum d'intensité.

Transformateurs. — Le poste de transformation comprend :

A. — 3 transformateurs triphasés Thomson-Houston immergés dans l'huile, à refroidissement par circulation d'eau. Ils répondent aux caractéristiques ci-après : tension primaire, 5 750 v ; tension secondaire, 63 000 v \pm 6 pour 100 ; puissance, 3 750 kv-A ; fréquence, 50 p : s.

Les rendements et chutes de tension garantis par le constructeur sont les suivants :

| | cos φ | 1/2 charge. pour 100 | 4/4 charge. pour 100 |
|----------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| Rendements | 1 | 98,3 | 98,5 |
| | 0,8 | 97,9 | 98,1 |
| Chutes de tension | 1 | 1 | 1 |
| | 0,8 | 0,8 | 6,5 |

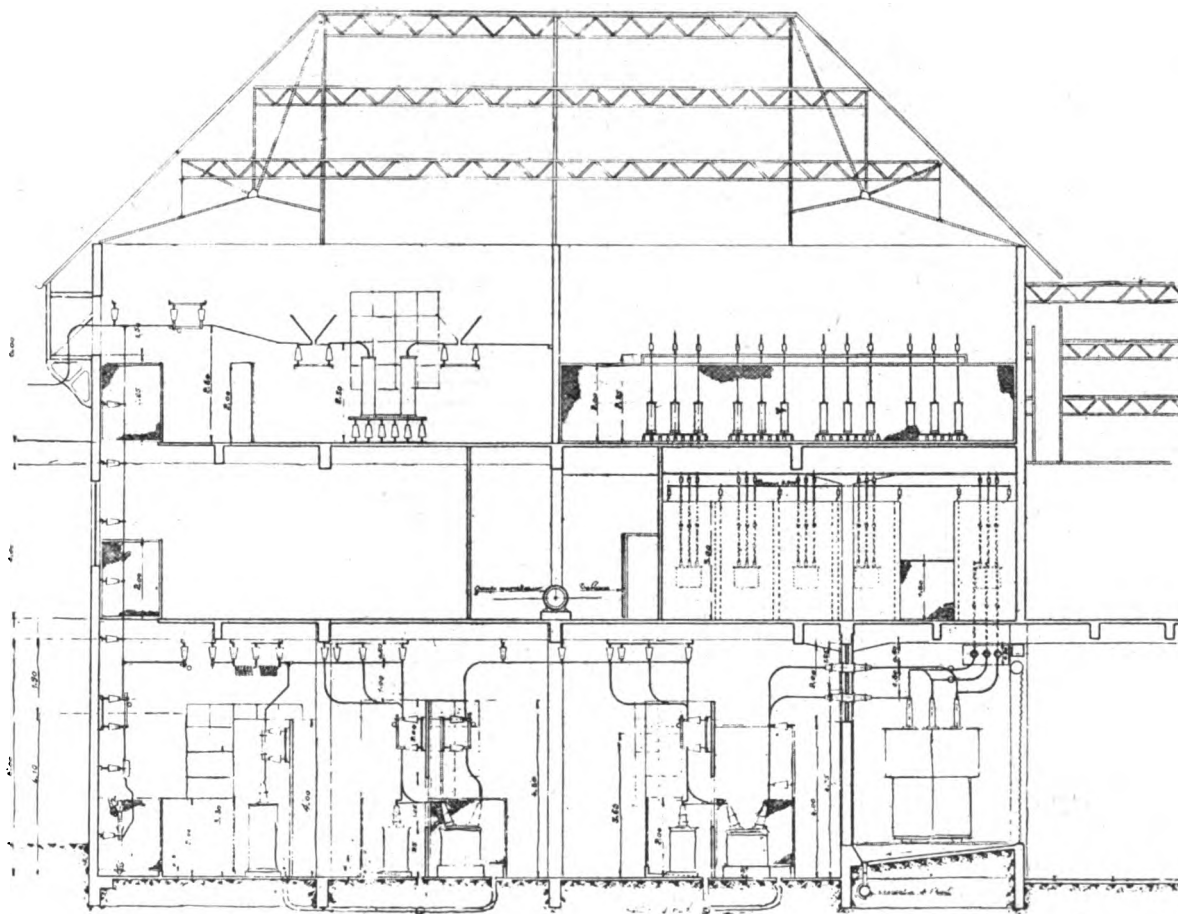


Fig. 18. — Vue en coupe du poste de transformation de Besançon.

B. — 2 transformateurs triphasés immergés dans l'huile à refroidissement par circulation d'eau ayant comme caractéristique : tension primaire, 5 750 v ; tension secondaire, 11 000 v \pm 3 pour 100 ; puissance, 1 200 kv-A ; fréquence, 50 p : s.

Les rendements et chute de tension garantis par le constructeur sont les suivants :

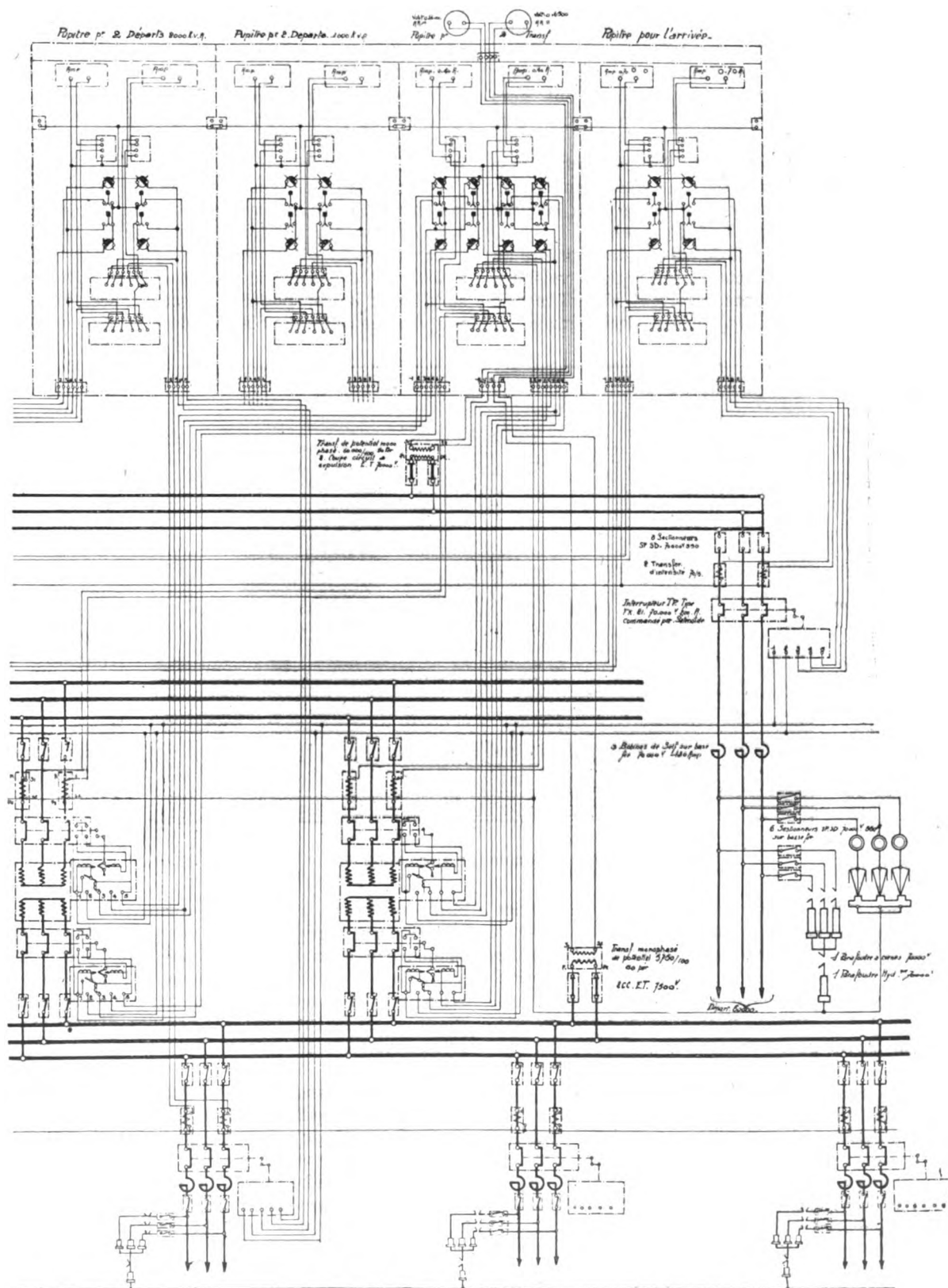
| | cos φ | 1/2 charge. pour 100 | 4/4 charge. pour 100 |
|----------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| Rendements | 1 | 98,1 | 98,1 |
| | 0,8 | 97,6 | 97,6 |
| Chutes de tension | 1 | 1,15 | 7 |
| | 0,8 | | |

Ces transformateurs triphasés alimentent deux dé-

parts 60 000 v, l'un sur Besançon, prévu pour une puissance de 10 000 kv-A ; l'autre sur Pontarlier, de 5 000 kv-A.

Les localités voisines de Mouthier sont alimentées par 5 départs à 10 000 v pour une puissance de 500 kv-A chacun. L'un de ces départs sert de liaison avec l'ancienne usine de Ouhans (prévue comme usine de secours).

IV. Réseau de distribution. — Lignes. — Tous les départs sont aériens et sortent du poste de transformation par des trémies ménagées au deuxième étage, sur la façade arrière. Ils se répartissent suivant 2 lignes pour courant triphasé 60 000 v alimentant les postes



du poste de transformation de Besançon.

alimentant en énergie les communes traversées.

La ligne Mouthier-Pontarlier est construite sur poteaux bois jumelés, fixés par des colliers-métalliques dans des embases en béton armé (fig. 17). Ce système, qui a permis de réaliser une notable économie, donne entière sécurité : les poteaux, complètement hors du sol, ne risquent pas d'être détériorés par leur base.

Cette ligne, d'une longueur de 16 km, est composée de 3 câbles 7 brins, aluminium acier, de 25,66 mm² de section. La puissance transmise est de 5 000 kv-a, la chute de tension maximum étant de 5 pour 100.

Les lignes 10 000 v, en fil de cuivre, de diamètre au moins égal à 4 mm, alimentent les régions voisines. Une centaine de communes reçoivent ainsi l'énergie de ce réseau, qui a environ 300 km de longueur.

Marche des travaux. — Les travaux d'implantation et d'installation commencèrent en mai 1917. L'usine provisoire, établie à la cascade du Grand Saut, fut commencée en juin 1917 et terminée en février 1918. D'une puissance de 250 ch, cette usine provisoire a fourni l'éclairage et l'énergie nécessaires aux chantiers pendant toute la durée

des travaux. Elle assura, en particulier, le service continu de deux postes de compression de 90 ch et de 35 ch installés à l'usine génératrice et à la fenêtre 2 du canal d'aménée qui servirent à la perforation mécanique et au pilonnage pneumatique des bétons.

Commencé en juillet 1918, le barrage a été exécuté en grande partie pendant l'été 1919. Une dérivation provisoire construite préalablement a permis d'exécuter les travaux entièrement à sec.

La perforation du souterrain commencée à la main en octobre 1918 fut bientôt poursuivie mécaniquement et terminée en mars 1920. Les revêtements furent entrepris en certains points en mars 1919. Le canal, après diverses interruptions dans les travaux, fut mis définitivement en charge en juillet 1921.

Les terrassements de l'usine génératrice commencèrent en janvier 1919 ; ceux du poste de transformation, en octobre 1919. Les maçonneries furent terminées

en novembre et décembre 1920. La mise en marche des groupes générateurs eut lieu le 15 septembre 1921.

Les transports sur le chantier furent assurés par un réseau de voie de 0,60 m constituant, en certains points, accidentés, des plans inclinés avec treuils tracteurs. Le service de la galerie dans la partie basse des chambres d'expansion et de la chambre des vannes fut assuré par un plan incliné de 250 m, correspondant à une différence de niveau de 120 m.

Le montage des conduites forcées fut effectué au moyen d'un câble aérien, traversant la vallée et ancré à ses deux extrémités dans de solides massifs en béton.

Les transports sur route furent assurés par un camion auto de 4 t et des chariots hippomobiles. Une difficulté surgit pour le transport des pièces lourdes, car le chemin d'accès à l'usine présente, de la route vers l'usine,

une pente descendante de 12 à 13 cm : m et de nombreux lacets. On put cependant effectuer ces transports sans incident, grâce à l'emploi d'un puissant fardeur surbaissé, remorqué par une locomobile routière.

Postes de transformation abaisseurs de tension. — Comme il a déjà été dit, le courant à la tension de 10 000 v est dé-

bité directement sur les transformateurs secondaires des réseaux. Par contre, le courant à 60 000 v est amené, par deux lignes aériennes, aux postes abaisseurs 60 000/10 000 v de Besançon et Pontarlier.

Equipés d'une façon analogue au poste élévateur de Mouthier, ils ne diffèrent que par des dispositions de détail nécessitées par les conditions locales.

POSTE DE TRANSFORMATION DE BESANÇON. — Le poste de transformation de Besançon, important bâtiment à deux étages de 24 m de longueur sur 12 m de largeur, est constitué par une ossature en béton armé avec cloisons de remplissage en béton de chaux.

La nature peu résistante du terrain a amené à le fonder assez profondément sur des semelles en béton armé.

Une partie du bâtiment a été aménagée pour loger le gardien du poste. Le reste est occupé par les différents

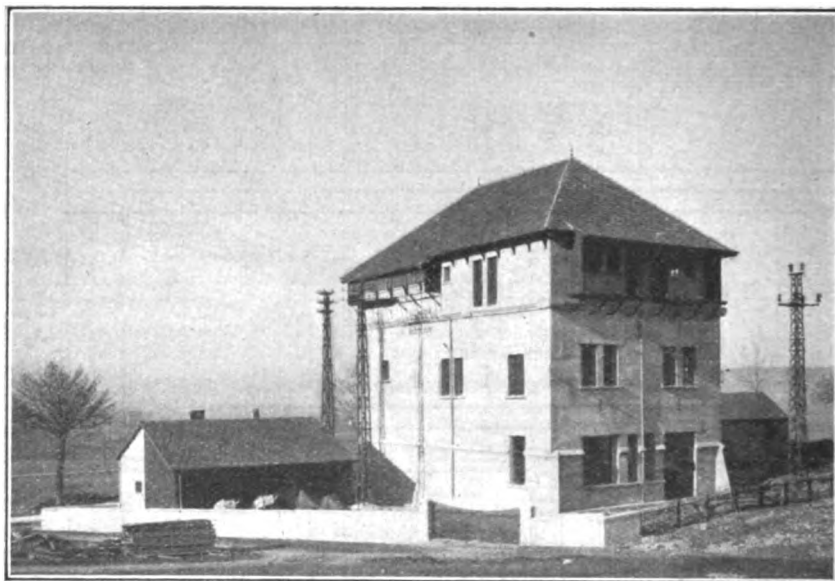


Fig. 20. — Vue du poste de transformation de Pontarlier.

appareils, comme il est représenté sur la vue en coupe de la figure 18. Le poste comprend l'arrivée à 60 000 v et un départ éventuel à la même tension.

Il est équipé avec trois transformateurs triphasés dont un de secours, immergés dans l'huile, à refroidissement par circulation d'eau et ayant les caractéristiques suivantes : tension primaire, 60 000 v \pm 3 pour 100 ; tension secondaire, 5 500 v ; fréquence, 50 p : s ; puissance, 2 500 kv-A.

Les rendements et chutes de tension garantis par le constructeur sont les suivantes :

| | $\cos \varphi$ | 1/2 charge. pour 100 | 3/4 charge. pour 100 | 4/4 charge. pour 100 |
|-------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Rendements | 1 | 98,4 | 98,5 | 98,5 |
| | 0,8 | 98 | 98,2 | 98,2 |
| Chutes de tension | 1 | 0,9 | | |
| | 0,8 | 1 | | |

De ce poste partent quatre départs 5 500 v, qui servent

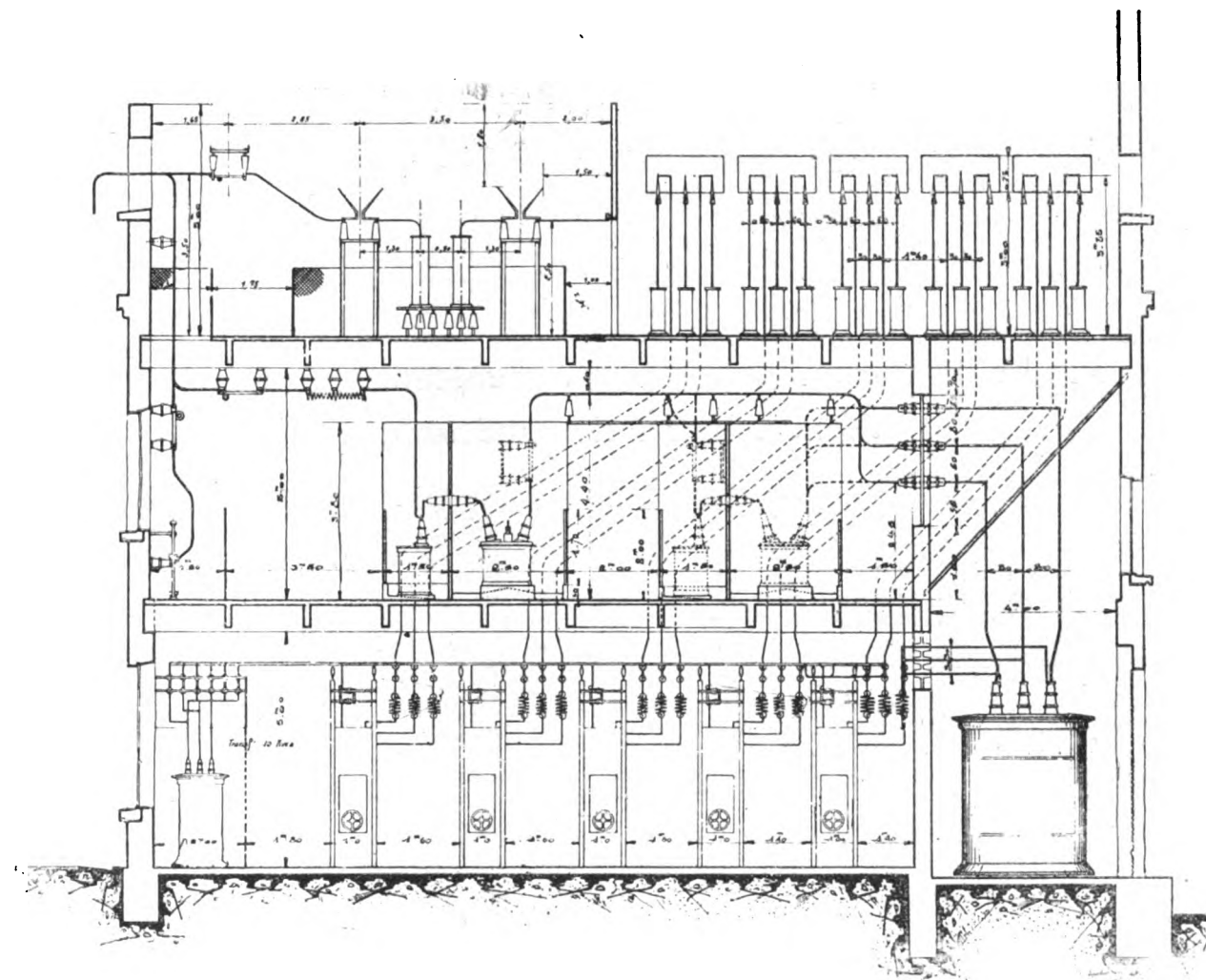


Fig. 21. — Vue en coupe du poste de transformation de Pontarlier.

à l'alimentation, en énergie et en lumière, de Besançon et des régions voisines.

Le schéma de l'équipement électrique de ce poste est représenté sur la figure 19.

POSTE DE TRANSFORMATION DE PONTARLIER. — Le poste de transformation de Pontarlier (fig. 20), construit en béton de ciment, est un bâtiment à deux étages d'une longueur de 15 m sur 12 m de largeur. La salle du rez-de-chaussée est occupée par les tableaux de commande des

départs. Le premier et le deuxième étages sont occupés par les différents appareils comme le représente la vue en coupe de la figure 21.

Le rez-de-chaussée comprend, en outre, les deux cellules des transformateurs, séparées par un atelier central desservi par un chariot porte-palan de 15 t. Le service est assuré par un chariot porte-transformateurs mobile sur un chemin de roulement longeant la façade.

Un petit bâtiment a été édifié à proximité pour loger le gardien.

Le poste est équipé avec deux transformateurs triphasés immergés dans l'huile, à refroidissement naturel par l'air et répondant aux caractéristiques suivantes : tension primaire, 60 000 v \pm 3 pour 100 ; tension secondaire, 10 000 v ; fréquence, 50 p. s ; puissance, 1 250 kv-a.

Les rendements et chutes de tension garantis par les constructeurs sont les suivants :

| | cos φ | 1/2 charge, pour 100 | 4/4 charge, pour 100 |
|-------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| Rendements | 1 | 97,5 | 97,8 |
| | 0,8 | 96,9 | 97,3 |
| Chutes de tension | 1 | 1,2 | |
| | 0,8 | 5,3 | |

Du poste de Pontarlier partent huit départs équipés chacun pour des puissances de 500 kv-a et 1 000 kv-a qui alimentent la ville de Pontarlier et la région avoisinante. Un départ éventuel pour une tension de 60 000 v

est prévu pour l'interconnexion avec les réseaux voisins.

Chaque poste est pourvu, pour la visite des transformateurs, d'un atelier muni des engins de levage permettant de sortir les parties actives des transformateurs de leurs cuves et d'un chariot porte-transformateurs permettant le transport facile des cellules à l'atelier.

Marche des travaux. — Les postes de transformation de Besançon et de Pontarlier, commencés en septembre 1920, furent entièrement équipés un an après.

En particulier, les maçonneries du poste de Pontarlier furent édifiées en trois mois (15 septembre-16 décembre 1920), ce qui constitue, si l'on tient compte des interruptions dues au climat rigoureux, une grande rapidité d'exécution.

Mené un peu plus lentement, et d'ailleurs de construction plus délicate, le gros œuvre du poste de Besançon fut terminé en janvier 1921.

J. REYVAL.

Projet de normalisation des dimensions des éléments de la construction mécanique

Dans un article intitulé « Unification des dimensions » publié dans la « Revue générale de l'Électricité » du 4 août 1917, t. II, p. 177-179, M. E. Labour montrait les avantages que présente l'adoption de progressions géométriques ayant pour base une puissance fractionnaire décimale de 10 pour l'établissement des échelons des dimensions des éléments entrant dans la construction mécanique. Cette idée a été reprise par la Commission permanente de Standardisation et, dans sa séance du 27 décembre 1921, elle a décidé de soumettre à l'enquête publique le projet de normalisation des dimensions établi sur ces bases par sa dixième sous-commission. En nous communiquant ce projet, le secrétaire général de la Commission nous demandait de vouloir bien le faire connaître à tous ceux qu'il peut intéresser. Comme il concerne le plus grand nombre de nos lecteurs, puisqu'il s'agit de l'adoption d'une règle générale qui doit servir dorénavant de base à la fixation des dimensions de tous les produits fabriqués et de toutes les grandeurs qui se prêtent à la normalisation, nous avons pensé que le mieux était de reproduire intégralement le document communiqué ; c'est ce que nous faisons ci-dessous. Ajoutons que l'enquête sera close le 30 juin prochain et que les observations suggérées par la lecture du document seront reçues jusqu'à cette date au secrétariat de la Commission permanente de Standardisation, Ministère du Commerce, 80, rue de Varennes, Paris, VII^e. De son côté, la « Revue générale de l'Électricité » accueillera les observations que lui adresseront ses lecteurs.

Normalisation des dimensions

La normalisation des dimensions a pour but de déterminer les échelonnements des nombres qui, adoptés comme bases pour les dimensions des éléments normalisés, permettent de satisfaire aux différents besoins de l'industrie avec la dépense minimum.

L'échelonnement ne doit pas être trop serré. Le prix de la main-d'œuvre et de l'outillage des éléments à construire étant d'autant plus élevé que le nombre des types est plus grand. Par contre, le prix de la matière diminuant quand le nombre de types augmente, en raison de la diminution de l'écart entre la dimension normalisée et la dimension strictement nécessaire, cette considération tend à augmenter le nombre des

éléments à construire, quand le prix de la matière devient l'élément prépondérant du prix.

L'échelonnement sera donc d'autant plus serré que la matière représentera une part plus importante du prix de l'objet, et, au contraire, d'autant plus large que l'objet coûtera plus de main-d'œuvre et d'outillage.

Quant à la loi des écarts, il a été admis unanimement, après discussion, que ceux-ci devaient être proportionnels aux dimensions, ce qui conduit comme loi à la progression géométrique.

Indépendance de la normalisation et de l'unité choisie. — Il est nécessaire que la normalisation

adoptée pour un objet soit indépendante de l'unité choisie, de telle sorte que les dimensions des divers

objets puissent concorder. Dans certains corps de métiers, l'unité de mesure est le centimètre; dans d'autres, le millimètre; dans d'autres enfin, le mètre.

Pour que, partant d'un nombre simple, on retrouve le même nombre simple avec une autre unité, il faut nécessairement que la loi de progression se renouvelle de dizaine en dizaine par des multiples de 10.

Série principale et séries accessoires. — Pour satisfaire à tous les besoins de l'industrie, il faut, comme il a été exposé plus haut, prévoir un échelonnement plus ou moins serré, suivant la nature de l'objet et suivant les besoins à satisfaire.

SÉRIE PRINCIPALE. — Dès lors, il est indiqué de prévoir une série principale dont l'échelonnement corresponde aux besoins les plus généraux. En général, les différents termes de cette série seront utilisés; toutefois, dans certains cas où l'échelonnement pourrait être très large, les nombres de cette série ne seront utilisés que périodiquement.

SÉRIES ACCESSOIRES. — Par contre, on pourra intercaler entre les termes de cette série des termes nouveaux d'une série secondaire, puis d'une série tertiaire, ces nombres formant avec les premiers une progression géométrique continue.

Progression géométrique proposée pour la série principale. — Pour la série principale, la Sous-Commission X propose la loi du colonel Charles RENARD qui avait pris pour raison de la progression $\sqrt[10]{10}$, soit 1,259 à $\frac{1}{10\,000}$ près. Cette loi présente les avantages spéciaux suivants :

$\sqrt[10]{10}$ est très sensiblement égal à $\sqrt[3]{2}$ à moins de $\frac{1}{1\,000}$ près; il en résulte que la progression géométrique coïncide presque exactement avec la progression géométrique par 2. D'autre part, si l'on prend deux objets qui se suivent, les éléments linéaires sont en rapport à 1,259, — les éléments superficiels, dans le rapport 1,59 — les éléments de volume dans le rapport 2.

La Sous-Commission X propose la *série principale* suivante entre 10 et 100.

10 — 12,5 — 16 — 20 — 25 — 32 — 40 — 50 — 63 — 80 — 100.

Ces nombres sont simples et faciles à retenir. Les écarts entre ces nombres et les nombres théoriques sont inférieurs à 1 pour 100, sauf 32 pour lequel l'écart est 1,17 pour 100.

On en déduit immédiatement les nombres correspondants des autres intervalles décimaux, en multipliant par 10 ou les puissances entières de 10, positives ou négatives.

SÉRIE SECONDAIRE. — Elle serait sensiblement la progression géométrique ayant comme raison $\sqrt[20]{10}$.

On intercalerait entre les nombres précédents :

11,2 — 14 — 18 — 22,4 — 28 — 36 — 45 — 56 — 71 — 90.

L'approximation est la même.

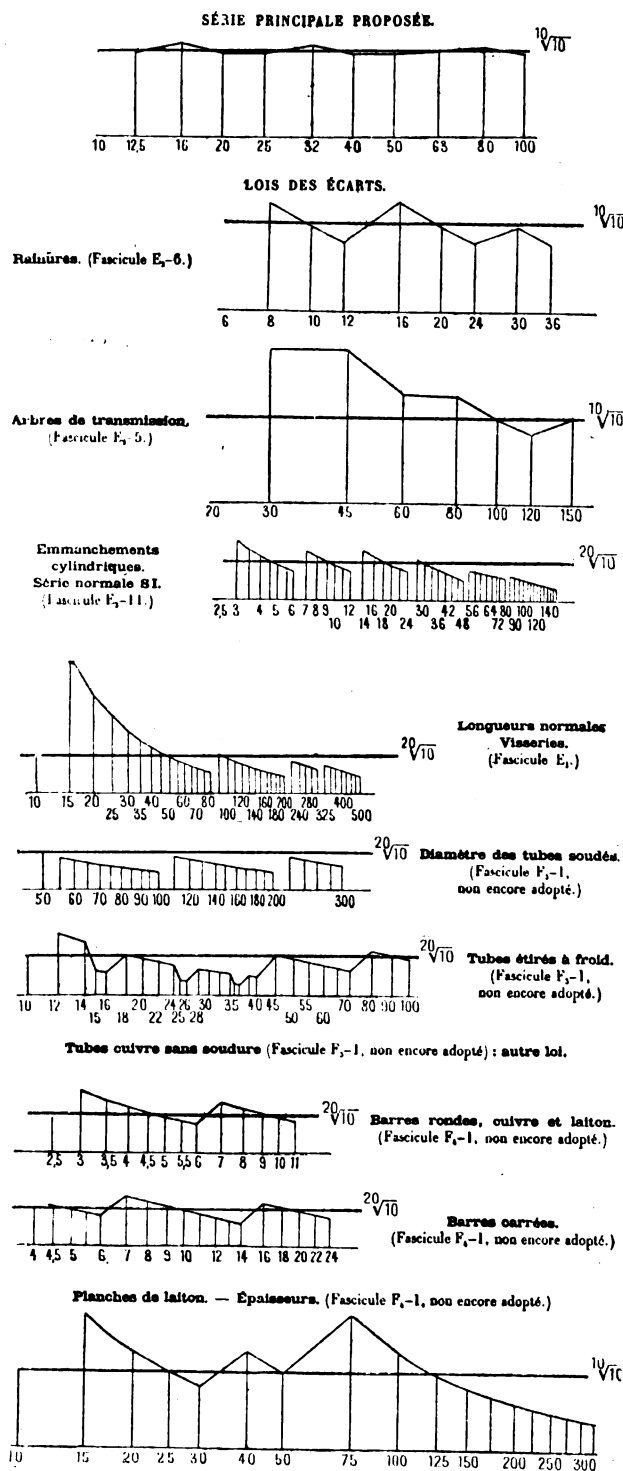


Fig. 1. — Graphiques des normalisations déjà effectuées ou en projet.

Les nombres sont portés en abscisses suivant leur échelle logarithmique. L'écart ou rapport d'un nombre à son précédent est porté en ordonnée avec une échelle logarithmique.

SÉRIE TERTIAIRE. — Cette série ne serait employée qu'exceptionnellement ; elle comprendrait, outre les nombres des séries précédentes, les nombres suivants :

10,6 — 11,8 — 13,2 — 15 — 17 — 19 — 21,2 — 23,6 — 26,5 — 30 — 34 — 38 — 42,5 — 47,5 — 53 — 59,5 — 67 — 75,5 — 85 — 95.

Le tout formant sensiblement une progression ayant pour raison $\sqrt[4]{10}$ (1).

La Sous-Commission X s'est assurée que ces échelonnements correspondaient bien aux besoins de la pratique. Des graphiques représentant les normalisations déjà effectuées et montrant les écarts sont donnés en figure 1.

On se rend compte ainsi, d'après l'examen de ces graphiques, que la série principale et la série secondaire indiquées répondent à tous les besoins habituels

et que la série tertiaire ne sera employée qu'exceptionnellement.

Conclusion. — C'est pourquoi la Sous-Commission X propose :

1° L'adoption de la série principale précitée comme échelonnement normal ;

2° L'adoption de la série secondaire pour les intervalles rapprochés ;

3° Exceptionnellement et pour des intervalles très rapprochés l'adoption de la série tertiaire ;

4° Dans le cas d'un échelonnement très large, l'emploi de la série primaire de 2 en 2 ou de la série secondaire de 3 en 3, les échelons manquent ainsi pouvant n'être réalisés qu'ultérieurement, quand le besoin s'en fera sentir.

Nouvel isolateur à haute tension

S'appuyant sur les conclusions d'une étude expérimentale effectuée en 1919 et 1920 par MM. Dachary et de la Gorce au Laboratoire central d'Electricité et présentée à la séance du 3 novembre 1920 de la Société française des Electriciens, les auteurs ont cherché à réaliser une meilleure répartition de la différence de potentiel le long d'un isolateur à chapelet en créant un type dans lequel la capacité des liaisons entre éléments soit pratiquement nulle. C'est ce nouveau type d'isolateurs, formé d'éléments de porcelaine reliés par des pièces en matière isolante, qu'ils décrivent dans l'article ci-dessous.

I. Introduction. — Dans les isolateurs à chaîne, quel que soit le type de fabrication des éléments, on se trouve en présence de n condensateurs en série, chacun d'eux étant constitué par une partie métallique et une partie en porcelaine, le long desquels la différence de potentiel entre fil et terre est répartie d'une manière tout à fait irrégulière, les premiers et derniers en supportant la plus grande fraction. On est ainsi conduit à faire travailler de faibles épaisseurs de porcelaine sous de fortes contraintes diélectriques, en particulier pour les éléments d'extrémité.

L'étude intéressante de MM. Dachary et de la Gorce (2) a fait ressortir que la répartition du poten-

tiel le long d'une chaîne est d'autant plus irrégulière que la capacité propre de chaque élément est plus faible par rapport à celles des pièces métalliques qui le relient à ses voisins.

De cette constatation, il résulte que, pour améliorer la répartition de la différence de potentiel le long d'une chaîne d'isolateurs, il convient ou bien d'augmenter la capacité de chaque élément en la graduant suivant l'emplacement de l'élément dans la chaîne, ou bien de diminuer la capacité par rapport à la terre des pièces métalliques de liaison.

MM. Dachary et de la Gorce se sont attachés à réaliser pratiquement la première solution : ils ont augmenté la capacité de certains éléments de la chaîne en métallisant par le procédé Schoop une fraction plus ou moins grande de la surface de la porcelaine. Nous avons cherché au contraire à réaliser la seconde par la suppression des liaisons métalliques et leur remplacement par des liaisons en matériaux isolants. Nous supprimons ainsi l'augmentation du courant de perte à la terre résultant de l'augmentation de capacité ; en outre, nous substituons à une chaîne de corps, fer et porcelaine, ayant des propriétés électriques très différentes, une chaîne formée uniquement de substances isolantes, ayant par suite des propriétés électriques analogues, ce qui, a priori, semble devoir amener une répartition plus régulière des surfaces équipotentielles le long de la chaîne.

La régularité de la répartition de la différence de potentiel tout le long de l'isolateur nous a paru d'ail-

(1) Il est à remarquer que les mesures mécaniques anglaises, le pouce, les multiples par 2 et ses sous-multiples forment une suite de nombres qui coïncident avec la série principale avec une approximation à peine supérieure à celle des puissances de $\sqrt[4]{10}$, comme en témoigne le tableau suivant :

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------|-------|------|------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| Pouces | 4 | 2 | 1 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{8}$ | $\frac{1}{16}$ | $\frac{1}{32}$ | $\frac{1}{64}$ |
| Valeur correspondante en millimètres | 101,6 | 50,8 | 25,4 | 12,7 | 6,35 | 3,17 | 1,59 | 0,795 | 0,397 |
| Série principale | 100 | 50 | 25 | 12,5 | 6,3 | 3,2 | 1,6 | 0,8 | 0,4 |

(2) R. G. E., 13 novembre 1920, t. VIII, p. 666 ; *Bulletin de la Société française des Electriciens*, novembre 1920, t. X, p. 345-362. Il y a lieu également de renvoyer utilement le lecteur aux études suivantes :

F.-W. PEER, R. G. E., des 9 et 16 avril 1921, t. IX, p. 495-505 et 534-549 ; FONTVIELLE, R. G. E., du 29 octobre 1921, t. X, p. 599-603 ; G. VIEL, R. G. E., du 15 février 1922, t. XI, p. 273-277 et W. WEIKER, R. G. E., du 22 avril 1922, t. XI, p. 592-596.

leurs être de nature à éviter le « vieillissement » des isolateurs. D'après certains constructeurs, ce vieillissement est caractérisé par la formation d'une fente ou d'une piqûre, qui compromet les qualités diélectriques de l'isolateur (1). Il n'est pas inadmissible de supposer que cette fente ou cette piqûre a pour origine la production, sous l'effet de l'irrégularité de répartition de la différence de potentiel, de contraintes diélectriques tellement importantes en certains points que la rigidité diélectrique se trouve rompue en ces points.

Partant de ces remarques, nous avons cherché à créer un élément isolateur n'ayant d'autre capacité que la sienne propre et pouvant s'assembler avec d'autres éléments identiques sans pièces métalliques.

En poussant le raisonnement à l'extrême, nous serions conduits à supprimer complètement la porcelaine et à remplacer la chaîne à éléments par une tige isolante enfermée dans une gaine protectrice, cette tige ayant une longueur et une section suffisantes pour supporter la différence de potentiel et l'effort mécanique demandés. Mais nous croyons préférable et plus simple d'interposer, entre plusieurs tiges isolantes, des épaisseurs de porcelaine qui présentent une rigidité diélectrique très élevée, ce qui augmente les qualités des chaînes d'isolateurs ainsi constituées.

De plus, une tige isolante d'une seule pièce nous conduirait à une longueur plus grande, pour une tension donnée, que celle correspondant à une chaîne d'isolateurs en porcelaine assemblés comme précédemment.

II. Isolateur « Elpery ». — a) *Supports rigides.* — L'examen des figures 1 et 2 montre comment a été réalisé pratiquement l'assemblage de plusieurs éléments entre eux. Les isolateurs dont le modèle-type est représenté à la figure 3 sont vissés fortement les uns sur les autres sur joints étanches en cuir, par exemple; les pièces isolantes qui les réunissent sont en bois dur séché à l'étuve, puis plongé quelques heures dans l'huile chaude et repassé à l'étuve. Un léger joint en ciment complète l'étanchéité en formant, de plus, rondelle de sécurité en cas d'effort au dévissage; ce joint n'est toutefois pas indispensable.

On peut de cette façon constituer des supports rigides ayant un nombre d'éléments variable suivant la tension et capables d'être utilisés soit comme supports de lignes aériennes, soit dans l'appareillage courant haute tension (supports de fil, sectionneurs, inverseurs, self-inductances, etc...). La figure 4 représente un sectionneur de circuit à 150 000 v pour extérieur construit de cette manière.

b) *Supports articulés.* — Dans le cas des lignes aériennes, il y a avantage à utiliser des chaînes de suspension avec éléments articulés de façon à en assurer la souplesse. Pour réaliser ces conditions, l'isolateur de la figure 3 utilisé dans la constitution des supports rigides peut également servir, les pièces isolantes fixes du support rigide devenant à rotule comme représenté à la figure 2.

(1) R. G. E., 18 mars 1922, p. 396.

Les chaînes de suspension doivent résister à des efforts de traction assez considérables; il est donc nécessaire que les pièces isolantes d'assemblage ne soient plus en bois comme précédemment, mais qu'elles offrent toute la sécurité désirable aux points de vue physique, chimique et mécanique.

Nous avons effectué quelques essais en utilisant un nouvel isolant portant le nom d'isoloid. Les résultats

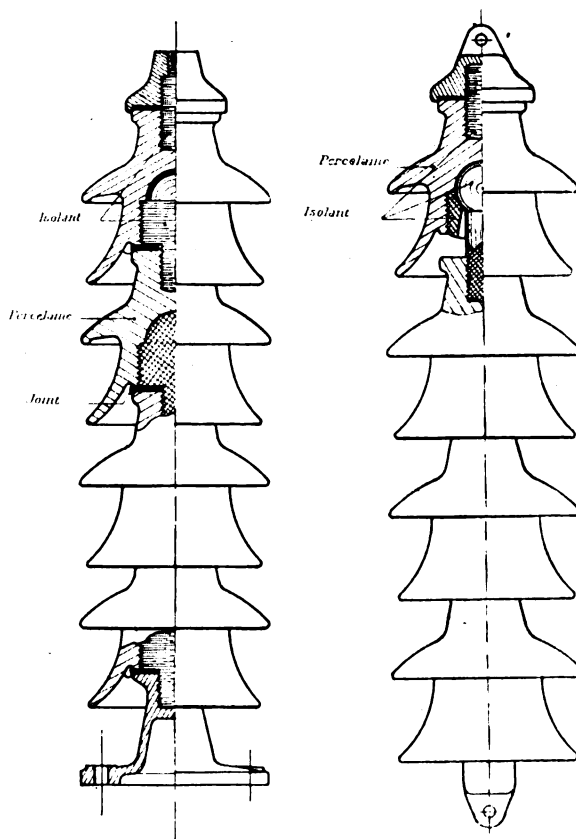


Fig. 1. Chaîne d'isolateurs « Elpery » sans pièces métalliques.
Fig. 2. Chaîne d'isolateurs « Elpery » à rotule.

des essais officiels à la traction effectués sur cette matière par le Conservatoire des Arts et Métiers (Procès-verbal n° 33 674 du 13 avril 1921) sont consignés dans le tableau suivant :

| | Éprouvette qualité A | Éprouvette qualité R |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Diamètres ou dimensions transversales, en mm..... | 20 × 5 × 7,8 | 20 |
| Section, en mm ² | 160 | 31,4 |
| Longueur de la partie calibrée, en mm..... | 165 | 190 |
| Mesure de l'allongement $L = \sqrt{66\ 678}$, en mm..... | 103 | 144 |
| Limite apparente d'élasticité, en kg : mm ² | 1,5 | 0,8 |
| Tension de rupture, en kg : mm ² | 9,6 | 1,6 |
| Allongement à la rupture, en centièmes..... | 24,2 | 1,4 |
| Allongement permanent, en centièmes..... | 15,5 | 1,0 |

Nous avons effectué, en outre, un essai à la traction sur un élément équipé avec des pièces (cuvette et rotule) en isoloid et avons obtenu la rupture de la tige en fond

de filet pour une charge de 900 kg pour une section de rupture de 490 mm².

Avec une section en fond de filet de 1 662 mm² cor-

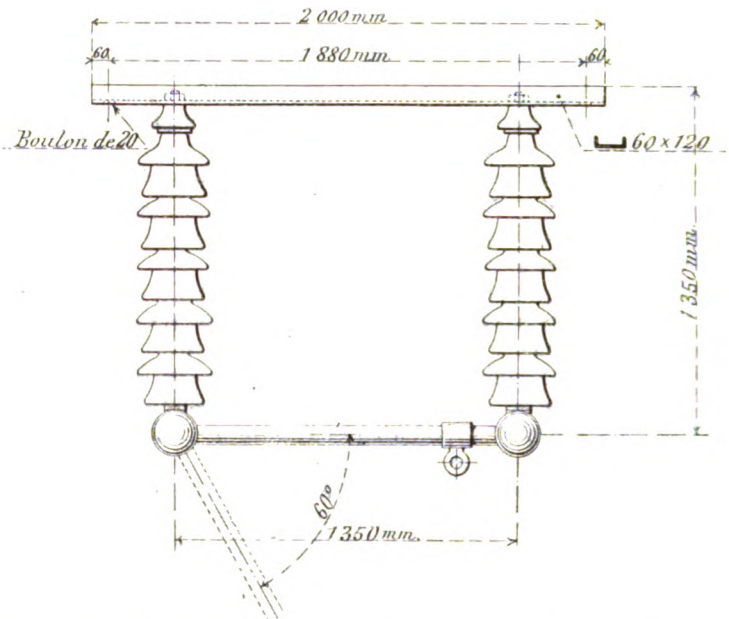
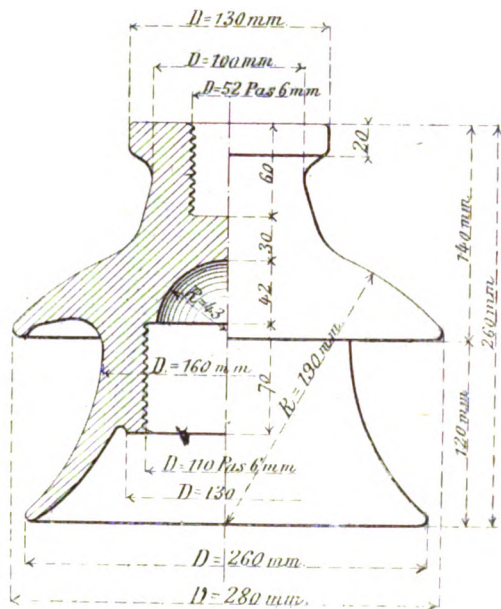


Fig. 3. Dessin coté de l'isolateur « Elpery ». — Fig. 4. Sectionneur supporté par une double chaîne d'isolateurs « Elpery ».

respondant aux cotes de l'isolateur de la figure 3, nous arriverions à une charge de rupture de 3 000 kg environ

qui est celle généralement admise pour une telle application.

Il est à remarquer que la matière dont nous nous sommes servis ne correspondait pas à celle de la qualité A mentionnée au tableau

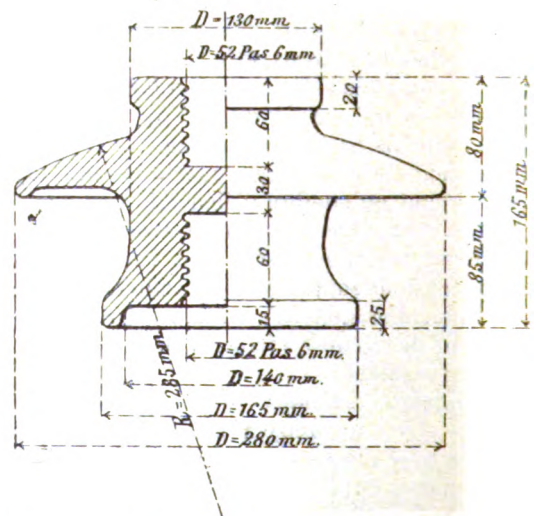
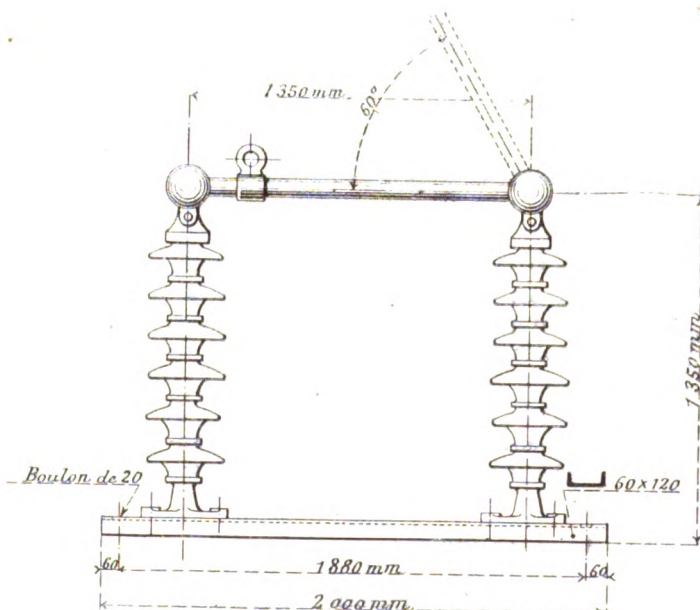


Fig. 5. — Sectionneur à isolateurs « Elpery » simplifiés et dessin coté.

ci-dessus, ce qui aurait relevé la valeur de nos résultats.

La figure 5 représente un sectionneur mixte pouvant

être employé indifféremment pour l'appareillage intérieur ou extérieur et utilisant un isolateur simplifié,

d'un prix de revient plus avantageux que celui de la figure 3.

c) *Traversées*. — L'examen de la figure 6 montre comment, en utilisant le même mode d'assemblage que pour les supports rigides, on peut constituer des traversées à l'aide des éléments constitutifs de la figure 7, les tubes filetés d'assemblage étant en bakélite, papier bakélisé, etc...

ESSAIS DE RÉPARTITION. — Ayant formé un support de quatre éléments identiques à ceux servant à constituer le sectionneur représenté à la figure 5, nous avons mesuré la variation de potentiel à travers chaque élé-

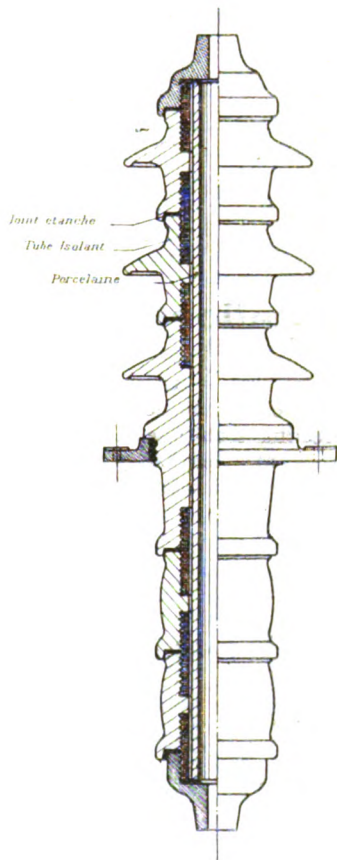


Fig. 6. — Isolateur de traversée constitué par des éléments « Elpery ».

ment, la tension totale étant appliquée aux deux extrémités de la chaîne,

Les résultats obtenus et vérifiés par le calcul ⁽¹⁾ sur cette chaîne sont représentés graphiquement par la courbe tracée en trait plein (fig. 8). La courbe tracée en trait pointillé se rapporte à un essai sur une chaîne de quatre éléments assemblés par des pièces métalliques.

⁽¹⁾ Suivant la méthode de l'éclateur décrite par MM. Dachary et de la Gorce dans l'article cité plus haut.

La tension utilisée pour les essais était de 110 000 v. De nouveaux essais vont être faits prochainement sur des chaînes à 7, 8 et 10 éléments, constituées avec les isolateurs représentés à la figure 3. Les résultats en seront donnés ultérieurement.

MONTAGE. — A l'examen des figures 1, 2 et 4, il est facile de se rendre compte que l'isolateur-type de la

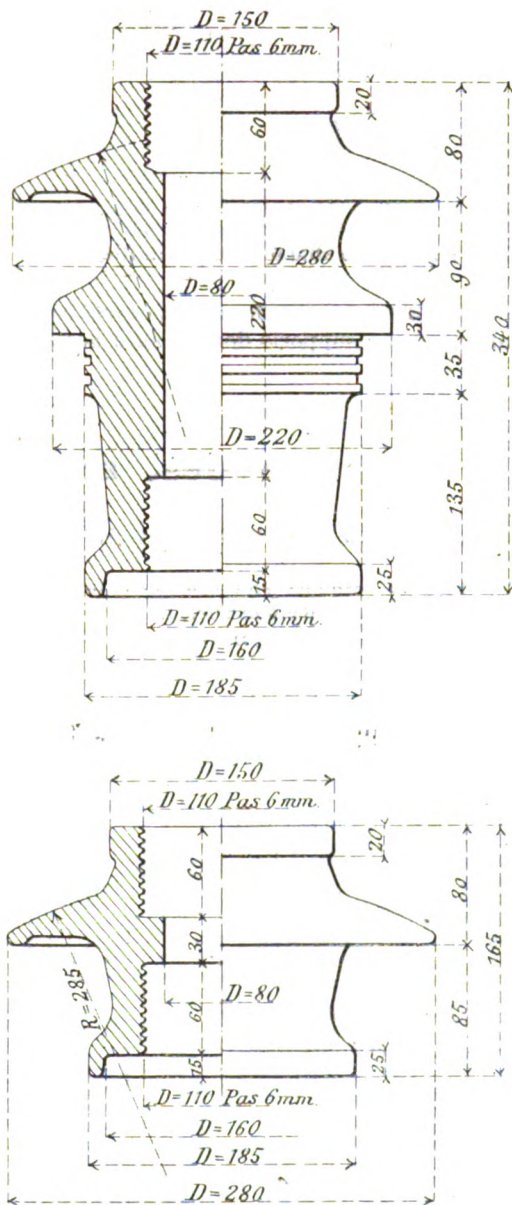


Fig. 7. — Dessins cotés d'éléments « Elpery » pour traversées

figure 3 peut être indistinctement employé dans la construction de lignes et dans l'appareillage. Toutes les pièces en porcelaine et en isolant étant interchangeables, elles peuvent être utilisées sur place. Un monteur

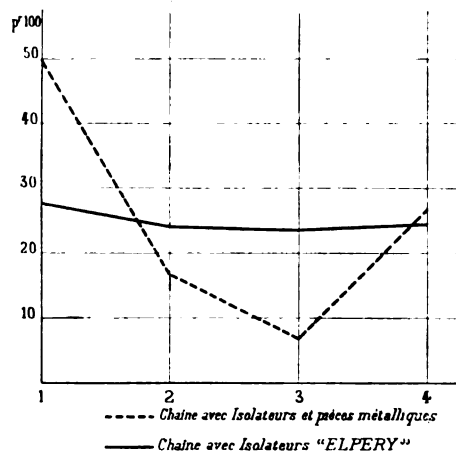


Fig. 8. — Répartition de la tension le long d'une chaîne constituée par des éléments Elpery, trait plein; par des éléments à pièces métalliques, trait pointillé.

n'aura donc qu'à constituer lui-même et très facilement les chaînes ou les supports dont il aura besoin pour

l'exécution de ses plans de montage. De plus, toutes les pièces sont facilement remplaçables, celles-ci étant toutes assemblées par simple vissage.

Au point de vue économique, l'isolateur « Elpery » permet d'établir des supports rigides ou articulés et des traversées dans des conditions, à notre avis, beaucoup plus avantageuses que celles obtenues en utilisant les montages actuels.

Outre que le mode d'assemblage des éléments est extrêmement facile, il permet également d'employer, pour une tension donnée, un nombre d'isolateurs plus petit que celui qu'exige l'emploi d'éléments assemblés avec des pièces métalliques.

Il est enfin indispensable de noter qu'avec des éléments interchangeables et démontables rapidement, l'entretien d'une ligne est extrêmement simplifié.

L. PERRIN,

Ingénieur I. E. G.

E. PIERNET,

Licencié ès sciences
Ingénieur I. E. N.

Revue, analyses et informations

Essais divers à 1 000 000 volts ⁽¹⁾.

Les lois utilisées jusqu'ici pour calculer la perte par effet couronne et la tension d'établissement de cet effet sont basées sur des essais réalisés, il y a plus de dix ans, à la tension de 250 000 v. Il était intéressant de savoir si ces

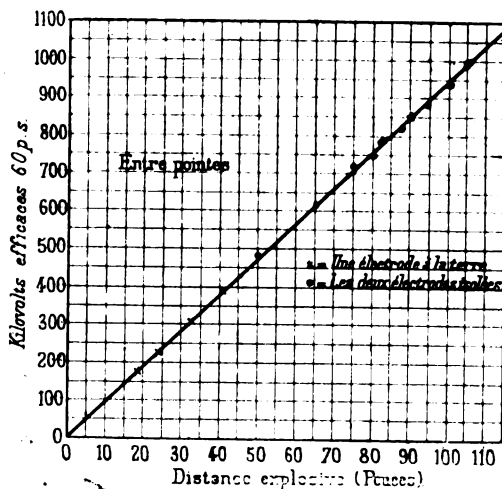


Fig. 1.

lois « tiennent » pour des tensions supérieures; c'est le but des essais entrepris par la General Electric Co, essais réalisés à la fréquence de 60 p. s., au moyen d'un transformateur de 1 000 kv-a.

⁽¹⁾ F. W. PECK. *Electrical World*, 31 décembre 1931, t. LXXVIII, p. 1 319-1 321, 2 000 mots, 2 fig., 1 tab.

AMORÇAGE ENTRE POINTES. — La courbe (fig. 1) n'a pas de discontinuités; elle est simplement la prolongation de la courbe, presque rectiligne, obtenue aux tensions plus basses: les courbes obtenues avec les deux électrodes isolées, d'une part, et avec une électrode à la terre, d'autre part, coïncident pratiquement.

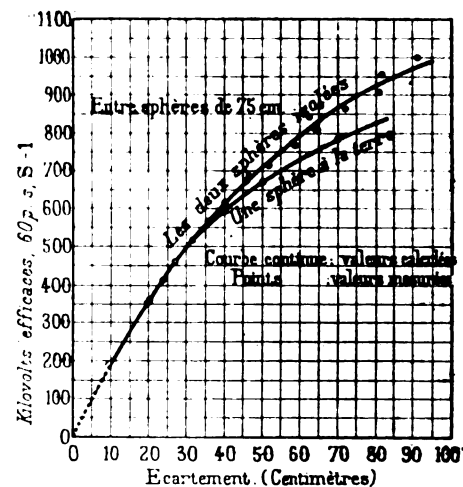


Fig. 2.

AMORÇAGE ENTRE SPHÈRES. — Sphères de 0,75 m de diamètre. La courbe (fig. 2) ne présente pas de discontinuité.

EFFET COURONNE. Des essais d'effet couronne lumineux furent effectués sur des tubes de laiton de 25,4 mm. ϕ 3 mm. et 90 mm de diamètre, avec espacements variables. Il en

résulte que les tensions d'établissement de l'effet couronne peuvent être déterminées d'après les lois correspondant à des tensions plus faibles. La figure 3 montre que les deux

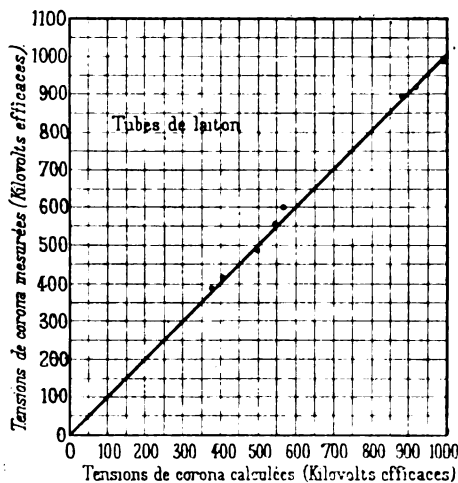


Fig. 3.

courbes (valeurs calculées et valeurs observées) sont presque en coïncidence; les valeurs calculées sont déduites de la formule

$$e_v = 21.1 m_v r \delta \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}}\right) \log_e \frac{s}{r} \text{ kilovolts,}$$

dans laquelle

$$\delta = \frac{3.92 h}{27.3 + t}$$

h , étant la pression barométrique en centimètres; t , la température en degrés centigrades; s l'écartement en centimètres; r , le rayon en centimètres, et m_v étant égal à l'unité. Le facteur d'irrégularité $m_v = 1$ correspond à des tubes lisses pour des tensions jusque 250 000 v. Cependant, si on veut employer des câbles spéciaux pour les très hautes tensions, le facteur m_v est à déterminer. L'augmentation de la tension de couronne gagnée par le bon état du câble arrive plus qu'à compenser le gain qu'on obtiendrait par accroissement du diamètre.

AMORÇAGE SUR ISOLATEURS DE LIGNE. — La courbe (fig. 4) est continue. Il est intéressant d'observer qu'aux tensions plus basses la contrainte sur l'élément d'une chaîne de 22 isolateurs le plus proche de la ligne est d'environ 20 pour 100 de la tension de fonctionnement. Si cette relation « tient » à 1 000 kv, on aurait pour contrainte sur le dernier élément : $0.20 \times 1\,000 = 200$ kv. Comme un élément ne supporte qu'environ 75 kv, la chaîne devrait amorcer à $\frac{75}{20} \times 100 = 375$ kv; et, cependant, une telle chaîne supporte 1 000 kv; c'est qu'elle est automatiquement protégée par l'effet couronne.

Le calcul des transformateurs à très haute tension ne semble pas devoir offrir de difficulté spéciale; seules les bornes nécessitent une attention particulière.

La section du conducteur d'une ligne à 1 000 000 v est intéressante à calculer. Supposons qu'il soit possible d'employer un conducteur tubulaire; au niveau de la mer et avec 6 m d'écartement entre phases, on trouve qu'il faudrait un conducteur de 127 mm de diamètre pour que la perte par effet couronne soit nulle; cependant, si la tension augmen-

tail de 10 pour 100, on obtiendrait une perte de 375 kw par mile (1 610 m). Ceci est caractéristique des lignes à très haute tension: une légère augmentation de quelques centièmes de la tension critique correspond à un accroissement important des pertes par effet couronne, puisque celles-ci croissent comme le carré de la différence entre deux tensions. Comparons, par exemple, la perte pour une ligne à 220 000 v et pour une ligne à 1 000 000 v (tensions critiques) lors d'une surtension de 10 pour 100; la ligne à 1 000 000 v survoltée de 10 pour 100 donne 375 kw de pertes pour 1 610 m, tandis que la ligne à 220 000 v, dans les mêmes conditions, ne donne que 7.2 kw par 1 610 m. Il résulte qu'il est désirable de faire fonctionner la ligne avec une marge plus grande entre les tensions normale et critique. Par exemple, si on

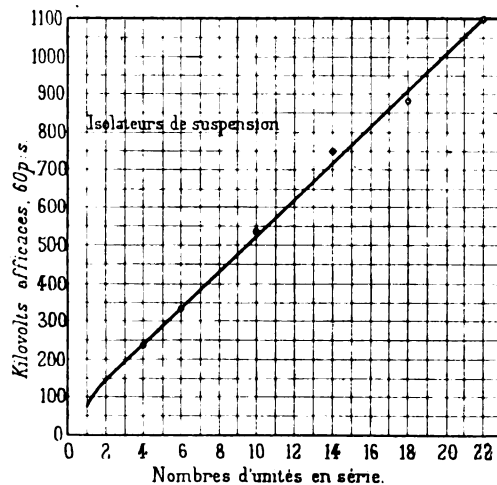


Fig. 4.

suppose que la pluie abaisse la tension critique de 20 pour 100, la perte sur la ligne à 1 000 000 v sera 1 080 kw par 1 610 m; pour la réduire, il faudra porter le diamètre du tube à 16.5 cm.

Il est intéressant d'estimer, par unité de longueur, le courant de capacité et la puissance apparente correspondante d'une ligne triphasée à conducteurs de 127 mm de diamètre espacés de 6 m, à 1 000 000 v, 60 p. s. Le courant par 1 610 m de ligne serait de 4.43 A; la puissance (par 1 610 m) de 7 650 kv-A. Les isolateurs, du type actuel, devraient avoir de 4.5 à 6 m de longueur. Pour qu'une pareille ligne soit économique, il faudrait transmettre une puissance considérable. Avec de très longues lignes fonctionnant en quart d'onde ou en demi-onde, les caractéristiques de la ligne et l'effet du courant de capacité diffèrent d'ailleurs énormément des conditions existantes sur des lignes relativement courtes.

Bien qu'il ne soit pas actuellement question d'utiliser réellement des lignes à 1 000 000 v, il était intéressant d'explorer les possibilités de leur fonctionnement; tel a été le but de ces essais. — P. V.

Les moteurs électriques de très petite puissance (1).

L'auteur étudie la construction de moteurs à courant continu de 1/8 à 3/4 de cheval, tournant entre 2 000 et 1250 t. mn. L'induit de ces moteurs est constitué par des tôles minces.

(1) W. J. Joux, *B. E. A. M. A.*, février 1922, t. x, p. 120 à 127, 6 500 mots, 4 fig.

poinçonnées d'une seule pièce et montées directement sur l'arbre. Les encoches sont du type demi-fermé, les dents sont à côtés parallèles laissant une encoche de forme grossièrement ovoïde; l'enroulement est fait directement sur l'induit, la forme des encoches empêchant d'utiliser les

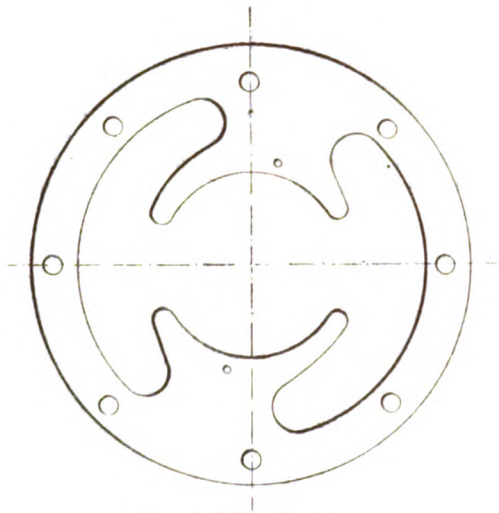


Fig. 1. — Tôle d'inducteur.

bobines faites sur forme; l'isolement des encoches est assuré au moyen de leatheroïd de deux à trois dixièmes de milli-

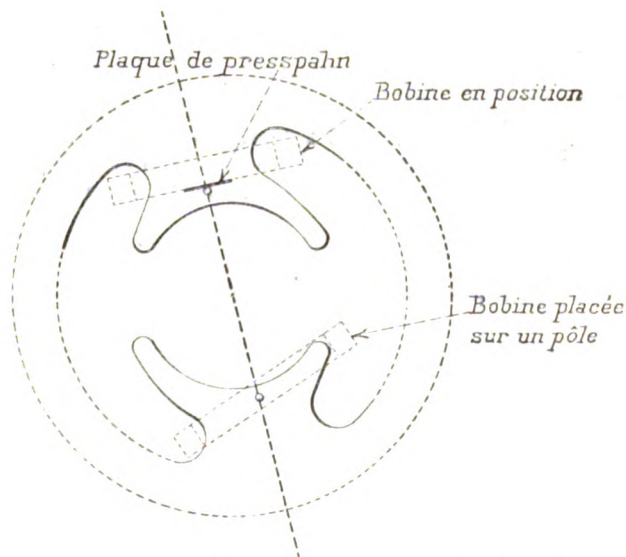


Fig. 2. — Manière de mettre en place les bobines inductrices.

mètre d'épaisseur, le fil est ordinairement isolé par un double guipage de soie.

Le système inducteur peut être exécuté de différentes façons : 1° la culasse en fonte peut être munie de pôles en tôles boulonnées; 2° la culasse peut être faite en acier coulé

avec pôles en tôles; 3° la culasse et les pôles peuvent être coulés d'une seule pièce soit en fonte ou en acier; enfin, la culasse et les pôles peuvent être exécutés en tôles poinçonnées (fig. 1). L'auteur pense que cette dernière solution est de beaucoup la meilleure. La figure 2 montre comment les bobines d'excitation sont mises et maintenues en place. L'auteur donne ensuite le calcul complet en admettant des valeurs hypothétiques du rendement qu'il fait varier de 0,45 à 0,75 suivant la puissance. Il suppose connus les valeurs admissibles de l'induction dans l'entrefer et le nombre d'ampères-tours par unité de longueur de la périphérie de l'induit, et il en déduit les dimensions de l'induit, la longueur étant une certaine fonction du diamètre. Il établit ensuite les dimensions des autres parties de la machine puis indique le calcul des pertes et celui de l'échauffement qui en résulte, en tenant compte de la ventilation naturelle due à la rotation de l'induit.

E. B.

Nouveau mode de construction des lampes à incandescence de très grande intensité lumineuse.

Voici le résumé de l'exposé fait par M. Holweck à la séance du 17 mai 1922 de la Société française de Physique en présentant ce nouveau mode de construction.

Lorsqu'on veut remplacer, dans les applications aux appareils de projection, l'arc électrique par la lampe à incandescence, on est conduit à réaliser des lampes à très grand éclat et à foyer ponctuel, c'est-à-dire des lampes à atmosphère gazeuse, très poussées, et possédant un filament de tungstène gros et court alimenté par un fort courant sous une faible différence de potentiel (50 A sous 20 V par exemple).

La construction de telles lampes par les moyens habituels offre de très sérieuses difficultés par suite de la fragilité des passages des conducteurs métalliques au travers de l'enveloppe en verre. De plus, ces lampes sont coûteuses, ont une vie courte, étant très poussées, et ne sont nullement régénérables.

Un nouveau procédé de construction consiste à utiliser un culot métallique pour fermer le col de l'ampoule, le joint étanche entre ces deux pièces étant assuré par un anneau de caoutchouc pur convenablement serré par un presse-étoupe. La disposition extérieure de ce joint est telle qu'elle permet d'utiliser les ampoules telles qu'elles viennent de verrerie.

Le caoutchouc a été traité en vue de l'élimination de toutes les substances volatiles. Le filament est supporté par deux tiges de nickel fixées sur le culot. Une de ces tiges est réunie à la masse, l'autre à une électrode isolée traversant le culot, le joint étanche étant encore assuré par un anneau de caoutchouc.

Un tel dispositif résiste parfaitement à une température de 100°C; les lampes construites par ce procédé ont une durée de vie identique à celle des lampes entièrement en verre. Le joint est facilement démontable, le caoutchouc pur ne collant pas du tout au verre.

On a fait fonctionner pendant la séance une lampe de ce type, à atmosphère d'azote, consommant environ 1 kw (45 A 22 V) et produisant 3 000 bougies décimales.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revue, analyses et informations

Sur la propriété d'une invention faite par un membre du personnel d'une entreprise industrielle.

Dans « La Journée industrielle » du 11 avril 1922, M. Max TURMANN, professeur à l'Université de Fribourg et à l'École polytechnique de Zurich, publie sur ce sujet la note qui suit :

I. — En matière de propriété d'une invention, il est un cas assez difficile à résoudre, qui se présente fréquemment. C'est le suivant : lorsqu'une invention a été faite par un ingénieur, un technicien ou un ouvrier au service d'un patron, à qui appartient-elle, à l'employeur ou bien à l'employé ?

Sur ce problème, qui est d'un caractère essentiellement pratique, comme vient de le prouver un tout récent arrêt de la Cour de Bordeaux intervenu dans un procès entre un ingénieur des Mines, M. C..., et la Société des Mines de Bansen-Lès, j'interrogeais récemment un spécialiste des plus qualifiés, M. le professeur Gariel, vice-directeur du Bureau international de l'Union pour la Propriété industrielle. Dans sa réponse, celui-ci s'appuya sur une étude très fouillée de la question, publiée dans le dernier numéro de la revue du Bureau international. Il m'a paru intéressant d'en faire connaître aux lecteurs de « La Journée industrielle » les grandes lignes et les conclusions principales.

II. — L'auteur anonyme de l'étude de la « Propriété industrielle » distingue trois systèmes principaux en ce qui concerne la question des inventions d'employés : d'abord le système de la liberté des contrats, puis celui de l'exclusion légale des clauses léonines du contrat, enfin celui de la réglementation précise des droits respectifs de l'employeur et de l'employé.

Étudions d'abord le *système de la liberté des contrats*, qui est le système adopté dans notre droit ainsi que dans de nombreuses législations étrangères.

Sans doute, la loi française sur les brevets (5 juillet 1844), comme les lois de plusieurs autres pays, déclare que l'invention appartient à son auteur. Mais, précisément, il s'agit de savoir si, en fait, le collaborateur salarié est ou non le véritable et seul auteur de l'invention. C'est là-dessus que les avis sont partagés suivant les espèces.

Deux hypothèses peuvent se présenter dans le système de la liberté des contrats.

1. Premier cas : *le contrat d'engagement de l'ingénieur ou du technicien contient des stipulations relatives aux inventions que pourra faire l'employé*. Ces stipulations, quelles qu'elles soient, font la loi des parties. C'est l'avis des maîtres en la matière. « S'il a été stipulé formellement entre le patron et son employé, déclare M. Pouillet dans son « Traité des Brevets d'Invention », que les inventions que ce dernier pourra faire au cours de son engagement deviendront la propriété du chef de la maison, pas de difficulté possible : cette

stipulation fait la loi des parties et doit être exécutée, quelque dures qu'en puissent être, dans la suite, les conséquences pour l'inventeur. Il peut arriver, en effet, que l'invention réalisée ait une valeur considérable, qui ne sera pas en rapport avec les maigres émoluments de l'employé. N'importe : force est due à la convention. »

Mais, après avoir formulé cette conclusion en juriste impitoyable, Pouillet ajoute aussitôt que, le plus souvent, les patrons se départiront de leur droit strict et accorderont à l'inventeur des avantages plus ou moins grands. Ce fut notamment le cas de Verguin, le chimiste de la Maison Renard, à Lyon, qui, par l'emploi du bichlorure d'étain, substitué au bichlorure de mercure, permit de fabriquer, sur une grande échelle, le rouge d'aniline et fit, avec cette industrie nouvelle, la fortune de ses patrons : ceux-ci lui remirent, à titre de récompense, une somme de 300 000 fr.

2. Deuxième cas : *Le contrat d'engagement ne contient aucune stipulation relative aux inventions que pourra faire l'employé*.

Il faut distinguer ici trois hypothèses.

a) L'invention est le résultat du travail auquel l'employé était préposé ou bien il en est, tout au moins, la conséquence directe (instructions reçues du patron ou exécution même de la mission par lui confiée). L'invention appartient alors au patron : ce qui revient à dire que, l'employé cherchant quelque chose sur l'ordre ou suivant les instructions de son patron, le trouvera pour celui-ci et non pour lui-même ;

b) L'invention est faite au contraire par l'employé en dehors de ses travaux ordinaires ou en dehors des instructions qu'il a reçues, par le libre effort de son intelligence. Dans ce cas, c'est à lui que reviendra la propriété de l'invention ;

c) L'invention est le résultat d'une mise en commun par le patron et l'employé, soit d'efforts, soit de moyens, en vue du but à atteindre : incontestablement, la propriété en est commune, tout comme la préparation le fut. Si même le brevet a été pris au nom de l'employeur, son collaborateur conservera sa part de propriété que les tribunaux pourront, le cas échéant, être appelés à déterminer.

III. — Ce système de la liberté des contrats est critiqué aujourd'hui, non sans raison, comme exposant les inventeurs à de regrettables injustices.

Aussi, de divers côtés, en France et à l'étranger, on en réclame la modification. C'est ainsi que, récemment, l'Union des syndicats d'ingénieurs français se prononçait nettement contre lui (1). Mais l'on peut se demander si l'un des deux autres systèmes, pratiqués en divers pays, donne mieux satisfaction aux justes réclamations des intéressés. C'est ce que nous examinerons prochainement.

(1) A ce système, on peut rattacher quelques législations qui établissent une présomption en faveur, soit de l'employeur (Hongrie, Danemark et Finlande), soit de l'employé (Grèce), mais laissent aux parties la possibilité d'y déroger — ce qui, en somme, établit la liberté des contrats.

Assemblées générales

Compagnie électrique de la Loire et du Centre.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 23 DÉCEMBRE 1921.

Cet exercice a été marqué par une sécheresse extrême qui a augmenté sensiblement la consommation de combustible. De plus, le secteur de Saint-Etienne a été privé, pendant la plus grande partie de l'exercice, de ses deux principales unités génératrices, de 6 000 kw chacune. La réparation de ces deux groupes a été poussée avec toute la hâte possible; mais leur absence, tout en rendant le service difficile, a entraîné une augmentation de dépenses en imposant l'emploi, comme secours, d'unités de moindre rendement. Ces circonstances ont été aggravées du fait que le prix du charbon s'est maintenu, jusqu'aux premiers mois de 1921, à des taux extrêmement élevés.

Ces conditions spéciales ont rendu encore plus manifeste l'insuffisance des relèvements provisoires qui avaient été acceptés par les principales communes desservies; les expertises amiables se sont poursuivies, mais si les abonnés ont estimé qu'il était équitable d'accepter les relèvements de prix qui leur ont été demandés, par contre certaines municipalités n'ont pas cru devoir accepter ces légitimes demandes. C'est ainsi que la société a été amenée à assigner devant le Conseil de Préfecture dix communes de la Haute-Loire et trois communes du Puy-de-Dôme. Enfin, tout récemment, la ville de Saint-Etienne a jugé bon de rompre les accords qu'elle avait conclus en vue de rechercher une entente amiable, et a décidé de s'en remettre aux décisions de la juridiction administrative.

En raison de la crise industrielle, la production d'énergie ne présente pas d'augmentation notable sur celle de l'exercice précédent; elle est de 1 49 127 206 kw-h contre 1 38 401 377 pour l'exercice 1919-1920. Cette production se répartit pour le secteur de Saint-Etienne, de 100 315 004 kw-h; de Roanne, de 23 186 526 kw-h; de Montluçon, de 25 625 676 kw-h.

Le nombre d'abonnés est de 14 036.

Le nombre de lampes réduites en unités de 35 w, 2 460 89.

Le nombre de chevaux de force motrice branchés, 63 596.

De nombreuses demandes d'abonnements restent en suspens et l'arrivée du courant de la Basse-Isère permettra à la société de reprendre le cours progressif de son développement.

Dans le secteur de Saint-Etienne, indépendamment des extensions de réseaux qui correspondent à la clientèle nouvelle, l'effort s'est porté principalement sur l'aménagement, à la Rivière (Saint-Etienne), du poste d'arrivée du courant de la Basse-Isère. L'on a travaillé aussi aux chutes de Monistrol d'Allier sur l'Ance du Sud et sur l'Allier, en poussant plus spécialement les travaux sur l'Ance du Sud.

Dans le secteur de Roanne, la mise à 30 000 v du réseau aérien s'est poursuivie; des auto-transformateurs 30 000 v 20 000 v, qui étaient jusqu'ici à la Vourdiat, ont été installés au Coteau. Les abonnements nouveaux ont donné lieu à la construction de divers branchements et à diverses extensions de réseaux. A la suite d'une convention passée avec l'arsenal de Roanne pour un échange de courant avec la centrale électrique de cet établissement, une ligne nouvelle a été construite.

Dans le secteur de Montluçon, il n'y a eu que des travaux de peu d'importance pour le raccordement d'abonnés nouveaux. La société continue à étudier, pour plus tard, une chute à aménager sur le Cher, à Lignerolles, immédiatement

à l'aval de l'usine hydroélectrique de Teillet-Argenty.

Le Conseil rend compte des résultats des exercices des entreprises diverses dans lesquelles la société est intéressée.

Union électrique. — Voir « R. G. E. » du 8 avril 1922, t. XI, p. 513.

Energie électrique de la Basse-Isère. — L'usine que cette société a aménagée à Beaumont-Montoux a été mise en service dans le courant de cet été. La ligne qui doit amener le courant de cette usine à Saint-Etienne et à Saint-Chamond est en construction. Cette société s'est heurtée jusqu'à ces derniers jours à une opposition injustifiée de la part des propriétaires de certains domaines que la ligne doit traverser.

Après de longues formalités, le travail se poursuit activement et la Compagnie électrique de la Loire et du Centre pourra utiliser cette puissance importante, dans les premiers mois de 1922.

Le Conseil a donné la garantie de la compagnie, solidairement avec la Compagnie des Forges et Acieries de la Marine et d'Homécourt, pour le paiement des coupons et le remboursement des titres amortis, d'une nouvelle émission de 12 000 000 fr d'obligations, faite par l'Energie électrique de la Basse-Isère.

Société de la Haute-Isère. — Cette société, dans laquelle la Compagnie électrique de la Loire et du Centre s'est assuré une part, aménage, sur l'Isère, la chute de Vielaire (40 000 ch) dont la production ira, pour un tiers, sur les réseaux de la filiale l'Union électrique et de là, en partie, par la ligne qui relie Tarare à Villefranche-sur-Saône, sur les réseaux du secteur roannais.

Les travaux sont conduits de façon que l'usine soit en service en 1923 ou 1924.

Le Conseil a donné la garantie de la compagnie pour le paiement des coupons et le remboursement des titres amortis, de 6 000 000 fr d'obligations de la Société de la Haute-Isère.

Société hydroélectrique de l'Eau d'Olle. — Grâce à la participation prise par la compagnie dans cette entreprise, il a été possible d'augmenter pendant cette année difficile la part qui lui revenait dans la production des deux chutes aménagées sur l'Eau d'Olle.

Cette production a été accrue, d'autre part, grâce à des améliorations peu coûteuses qui ont pu être réalisées dans l'emploi d'un lac naturel comme régulateur.

Société de Transport d'Energie des Alpes. — Cette entreprise se propose d'amener dans les régions desservies par la compagnie ou par la filiale l'Union électrique l'énergie que doit produire la chute de la Haute-Isère. Elle se met en mesure d'achever son programme de lignes pour l'époque où la chute de Vielaire sera elle-même terminée. La compagnie a souscrit sa part dans l'augmentation du capital que la Société de Transport d'Energie des Alpes a été amenée à faire pour cela au mois d'août dernier.

Société de Transport d'Energie du Centre. — La compagnie a également souscrit une part lors de la constitution de la Société de Transport d'Energie du Centre, dont le programme consiste à relier entre elles à haute tension les sources d'énergie dont disposent ou disposeront plus tard les différents secteurs.

Les recettes d'exploitation de l'exercice se présentent comme suit :

Pour le secteur de Saint-Etienne, 24 761 125,21 fr.; pour le secteur de Roanne, 5 871 990,48 fr.; pour le secteur de Montluçon, 6 005 777,22 fr.

L'augmentation, par rapport à l'exercice 1919-1920, est de 13 804 002,57 fr. Il faut ajouter aux recettes d'exploitation de 36 638 892,91 fr le revenu du portefeuille, les intérêts sur comptes courants et divers, 1 070 764,07 fr, ce qui donne un total de 37 709 656,98 fr.

Quant aux dépenses, elles atteignent 33 367 315,21 fr, y compris les pertes sur le change.

Le bénéfice net, encore conditionnel par suite des questions non réglées avec les municipalités, s'élève à 4 342 342,77 fr. Il est reporté à nouveau, il ne pourra être considéré comme définitif qu'autant que, soit par la voie contentieuse, soit par la voie amiable, le caractère provisionnel de la somme de 5 333 976,31 fr figurant dans les recettes d'exploitation aura cessé d'exister.

BILAN AU 30 JUIN 1921.

| <i>Actif.</i> | | fr |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----|
| Apports, frais de constitution et de premier établissement..... | Mémoire. | |
| Mobilier, outillage, chevaux, voitures et automobiles..... | 1 | » |
| Acquisitions et dépenses en vue de projets nouveaux..... | 1 | » |
| Immobilisations, secteur de Saint-Etienne..... | 66 615 735,29 | |
| — — de Roanne..... | 11 948 164,69 | |
| — — de Montluçon..... | 11 989 128,94 | |
| Appareils en location..... | 3 351 191,99 | |
| Terrains, droits de riveraineté et divers..... | 753 583,94 | |
| Prime de remboursement et frais d'émission des obligations et bons..... | 3 894 756,27 | |
| Disponible : | | |
| En caisse..... | 759 956,92 | |
| En banque..... | 3 381 092,08 | |
| Débiteurs : | | |
| Actionnaires..... | 6 914 125 | » |
| Abonnés et clients..... | 7 170 044,01 | |
| Impôts et droits à recouvrer..... | 438 926,86 | |
| Cautionnements..... | 125 541 | » |
| Débiteurs divers..... | 17 265 863,30 | |
| Portefeuille et participations..... | 16 385 522,03 | |
| Rente 6 pour 100 1920 en dépôt de garantie..... | 2 667 500 | » |
| Marchandises en magasin et dans les dépôts..... | 5 180 589,55 | |
| | 158 861 723,96 | |
| <i>Passif.</i> | | fr |
| Capital représenté par 240 000 actions de 250 fr.. | 60 000 000 | » |
| Obligations Loire 4 1/2 pour 100, émission 1914.. | 85 500 | » |
| — — 4 1/2 pour 100, 1 ^{re} émission 1909..... | 1 770 000 | » |
| — — 4 1/2 pour 100, 2 ^e émission 1909..... | 1 462 000 | » |
| Obligations Loire et Centre 5 pour 100 série A.. | 13 870 500 | » |
| — — — 5 pour 100 série B.. | 9 352 500 | » |
| — — — 6 pour 100 émission 1917..... | 15 000 000 | » |
| — — — 6 pour 100, émission 1920..... | 30 000 000 | » |
| Bons Loire et Centre 6 pour 100..... | 3 000 000 | » |
| Réserve légale..... | 1 004 656,19 | |
| Réserve pour fonds de renouvellement..... | 2 000 000 | » |
| Réserve générale pour amortissements..... | 6 197 000 | » |
| Coupons restant à payer sur actions et obligations..... | 744 283,19 | |
| Obligations à rembourser..... | 108 201,90 | |
| Créanciers divers..... | 19 769 320,10 | |
| Reliquat des exercices antérieurs..... | 135 419,81 | |
| Reliquat créditeur conditionnel (1) du compte de profits et pertes pour l'exercice 1920-1921..... | 4 342 342,77 | |
| | 158 861 723,96 | |

(1) Ce reliquat créditeur est conditionnel et ne sera définitif qu'autant que les municipalités intéressées reconnaîtront un caractère définitif aux recettes provisionnelles déjà sanctionnées par une expertise contradictoire, s'élevant à 5 333 976,31 fr et figurant dans les comptes de l'exercice.

Compagnie centrale d'Énergie électrique.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 21 MARS 1922.

La crise industrielle, qui s'était manifestée au cours de l'année 1920, s'est accentuée pendant les premiers mois de 1921 et a entraîné une diminution importante des ventes d'énergie durant cette période.

Les produits obtenus au cours de l'exercice ont subi l'influence de ces circonstances défavorables; ils ont été affectés également par le retard apporté par les constructeurs à la livraison du matériel destiné aux nouvelles installations.

La production des usines alimentant la région de Rouen a été de 43 263 270 kw-h contre 46 057 950 en 1920.

La baisse du prix du combustible s'est notablement accentuée et constitue l'un des principaux facteurs de la reprise constatée en fin d'exercice.

Après certaines difficultés de mise au point qui sont en voie d'aplanissement, la nouvelle chaufferie commandée en 1918 est entrée en service à l'usine de Grand-Quevilly et le matériel existant a pu subir les travaux de réfection et d'entretien que nécessitait le dur service auquel il avait été soumis depuis 1914.

La livraison des deux turbo-alternateurs de 10 000 kw commandés en mai 1920 a subi un retard qui n'a pas encore pris fin. Malgré l'augmentation sensible de la puissance fournie par les usines, l'alimentation du secteur a pu être assurée grâce aux groupes de 6 000 kw existant à Grand-Quevilly et à l'appoint donné par la station de Croisset; mais le fonctionnement moins favorable des anciennes unités a entraîné des frais d'exploitation plus élevés que ceux qui eussent résulté de l'emploi du nouveau matériel. Le premier turbo-alternateur de 10 000 kw est maintenant en cours de montage et doit entrer en service au cours du second trimestre de cette année; le second groupe suivra à peu d'intervalle.

La grande artère à haute tension, qui relie l'usine de Grand-Quevilly à Caudebec-les-Elbeuf au sud et à Monville au nord, a été achevée au cours de l'exercice. Une extension de cette ligne est en cours d'exécution au delà de Monville vers Clères, Grugny et Auffay. La compagnie a demandé, d'autre part, la concession d'un branchement destiné à alimenter les communes de Pavilly et de Barentin et a soumis au Département un programme comportant la construction, avec l'aide financière des collectivités intéressées, d'un réseau destiné à desservir les régions situées au nord-ouest et au nord-est de Rouen.

L'extension du réseau de Châteauroux a conduit la compagnie à prévoir l'installation d'un nouveau groupe turbo-alternateur de 1 000 kw, qui entrera en service au cours de l'hiver prochain.

La compagnie possède une importante participation dans la Société algérienne d'Éclairage et de Force, qui a repris depuis juillet 1920 l'exploitation des secteurs d'Alger et d'Oran; les résultats de l'exercice écoulé ont pleinement répondu aux prévisions d'origine. Un dividende de 8 pour 100 sera proposé à l'assemblée générale pour les actions de numéraire, contre 6 pour 100 l'an dernier; les actions d'apport, qui n'avaient reçu aucune rémunération en 1921, auront droit à un dividende de 6 pour 100. Ces dernières, représentant un montant total de 5 millions de francs, ont été attribuées en totalité à la compagnie. Les sommes correspondantes viendront, bien entendu, en augmentation des produits de l'exercice en cours.

L'assemblée générale autorise la création et l'émission en une ou plusieurs fois, en totalité ou en partie, de trente

mille obligations nouvelles, au capital nominal de cinq cents francs chacune, représentant un capital nominal de quinze millions de francs.

L'assemblée donne au Conseil d'administration tous pouvoirs nécessaires à l'effet de procéder à la création et à l'émission de tout ou partie de ces trente mille obligations, en une ou plusieurs fois, suivant les besoins de la société, et aux taux, clauses et conditions qu'il fixera. Les titres seraient identiques à ceux émis en 1917.

Le compte de profits et pertes se solde par un bénéfice de 1 289 984,29 fr. Les recettes d'exploitation, en y comprenant le produit des clauses correctives, s'élèvent à 16 711 688,80 fr contre 36 984 462,95 fr en 1920 et les dépenses d'exploitation à 11 206 328,45 fr contre 31 714 465,60 fr. Nous vous rappelons que les comptes de l'exercice précédent comprenaient pour un semestre les résultats d'exploitation des secteurs algériens; d'autre part, la baisse du charbon a entraîné une diminution parallèle des recettes et des dépenses.

Les produits d'exploitation ressortent à 6 533 751,44 fr auxquels s'ajoutent les charges obligatoires, divers amortissements et 300 000 fr sur le compte de guerre, soit un total de 16 450 038,60 fr.

Sur le bénéfice net 1 289 984,29 fr, il est prélevé: 5 pour 100 pour la réserve légale, un premier dividende de 5 pour 100 aux actions. Sur le solde, il est attribué 10 pour 100 au Conseil.

Sur la différence 202 936,57 fr augmentée du report précédent 528 081,47 fr, il est prélevé un dividende de 1 pour 100 aux actions.

Le report à nouveau est de 531 021,04 fr. Le dividende sera payable à partir du 15 mai 1922, à raison de 30 fr par action sous déduction des impôts, contre remise du coupon n° 6. Le coupon n° 5 avait été affecté à l'exercice du droit de souscription aux anciens actionnaires sur les titres de la récente augmentation du capital.

Les actionnaires ont voté les résolutions suivantes :

Première résolution. — L'assemblée déclare avoir pris connaissance de l'acte reçu par M^r Grange, notaire à Paris, le 14 mars 1922, contenant déclaration de souscription et de versement à l'augmentation de 5 millions de francs du capital social, décidée par le Conseil d'administration par délibération du 17 janvier 1922, en vertu des autorisations et pouvoirs qui lui ont été conférés par délibération de l'assemblée générale extraordinaire du 9 juillet 1920.

Elle déclare également avoir pris connaissance des pièces à l'appui déposées sur le bureau.

Elle approuve le tout et reconnaît la sincérité de la déclaration faite au nom du conseil d'administration sur la souscription de la totalité des dix mille actions représentant ladite augmentation de capital et le versement par chaque souscripteur du premier quart, soit 125 fr, sur chacune des actions par lui souscrites.

Deuxième résolution. Par suite de l'adoption de la résolution qui précède, l'assemblée déclare que l'augmentation de capital de 5 millions est devenue définitive et que le capital social est désormais élevé à 25 millions de francs.

Et comme conséquence, tant de la réalisation de cette augmentation de capital que de la troisième résolution votée par l'assemblée générale extraordinaire du 9 juillet 1920, l'assemblée générale décide que l'article 6 des statuts sera modifié de plein droit et désormais rédigé comme il suit :

« Le fonds social, qui était primitivement de 5 millions de francs, est actuellement fixé à 25 millions de francs; il est divisé en 5000 actions de 500 fr chacune, souscrites en numéraire, sur lesquelles 10000 actions jouissent du droit de priorité temporaire sur les bénéfices dont il est parlé à l'article 43. »

Troisième résolution. — L'assemblée générale, comme conséquence de la réalisation de l'augmentation de capital faisant l'objet des résolutions qui précèdent, constate que les modifications aux articles 7, 14 et 43 des statuts, décidées sous condition suspensive par l'assemblée générale extraordinaire du 9 juillet 1920, sont également devenues définitives et que lesdits articles seront désormais rédigés suivant le texte adopté par la quatrième résolution de ladite assemblée.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1921.

| Actif. | fr |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Frais de constitution..... | 1 » |
| Premier établissement : | |
| Usines, sous-stations et postes de transformation : | |
| Terrains et bâtiments..... | 9 459 575,71 |
| Machines et installations fixes..... | 23 666 464,39 |
| Réseau de distribution aérien et souterrain..... | 12 192 799,11 |
| Gros et petit outillage..... | 256 909,82 |
| Compteurs et appareils en location..... | 1 279 363,75 |
| Installations téléphoniques..... | 1 » |
| Mobilier..... | 1 » |
| Acquisition des fonds de commerce de l'exploitation de Rouen..... | 6 827 228,82 |
| Frais de mise en marche, indemnités et divers..... | 1 » |
| Cautionnements déposés par la compagnie..... | 64 214,85 |
| Approvisionnements et marchandises en magasin..... | 1 772 648,40 |
| Avances sur combustibles..... | 1 363 465,25 |
| Espèces en caisses et en banques..... | 1 221 256,46 |
| Titres en portefeuille..... | 6 513 000 » |
| Débiteurs divers et comptes d'ordre..... | 4 576 514,66 |
| Prime de remboursement et frais d'émission des obligations..... | 1 771 904 » |
| Compte de guerre..... | 1 123 982,94 |
| | <u>71 518 361,89</u> |

Passif.

| | fr |
|----------------------------------------------------|----------------------|
| Capital : | |
| 40 000 actions de 500 fr..... | 20 000 000 » |
| Obligations : | |
| 31 504 obligations de 500 fr 5 pour 100..... | 17 252 000 » |
| 29 430 obligations de 500 fr 6 pour 100..... | 14 715 000 » |
| Réserve légale..... | 169 465,28 |
| Amortissement par remboursement d'obligations..... | 1 844 961,50 |
| Banquiers créditeurs..... | 11 334 964,80 |
| Créditeurs divers et comptes d'ordre..... | 4 071 434,17 |
| Coupons à payer et obligations à rembourser..... | 312 467,08 |
| Profits et pertes : | |
| Reliquat du précédent exercice..... | 528 884,47 |
| De l'exercice 1921..... | 1 289 984,29 |
| | <u>71 518 361,89</u> |

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU 31 MARS 1922.

Pour assurer l'exécution de l'important programme de travaux dont la compagnie a poursuivi la réalisation depuis 1918 et qui est actuellement en voie d'achèvement, elle a obtenu de divers groupes financiers des avances importantes dont le montant s'élève à 11 314 964,80 fr au 31 décembre 1921. Les installations nouvelles seront entièrement en service au cours du prochain semestre et entreront par suite dans une période productive. Le moment paraît donc venu de procéder à une opération d'ensemble destinée à consolider la situation de la compagnie et à lui fournir les moyens de trésorerie nécessaires pour assurer, au cours des prochains exercices, le développement normal des installations.

L'assemblée générale extraordinaire du 9 juillet 1920 avait autorisé le Conseil à porter le capital social, en une ou plusieurs fois, de 20 à 35 millions de francs. En exécution de cette décision, une première tranche de 10000 actions, représentant 5 millions de francs, a été émise le mois dernier et la souscription en a été effectuée avec un plein succès.

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur les conséquences de la sécheresse de 1921 sur l'exécution des contrats de fourniture d'énergie hydroélectrique.

Dans son numéro des 9-10 avril 1922, notre confrère « La Journée industrielle » publiait la question et la réponse suivantes :

Question 376. — Une société d'électricité, qui produit son courant au moyen d'une installation hydraulique, peut-elle invoquer la sécheresse comme un cas de force majeure l'ayant empêchée de tenir ses engagements envers ses abonnés, alors qu'elle possède comme installation de secours une installation thermique ? La clause du contrat par laquelle la société limitait, d'avance, les dommages pouvant être dus par elle en cas de manquement à ses engagements est-elle valable ?

Réponse. — Les interruptions de courant, surtout si elles présentent le caractère d'arrêts systématiques contraires à l'exécution des conventions intervenues entre la société et les abonnés constituant à la charge de la société une faute qui l'oblige à réparer le préjudice causé aux abonnés. La sécheresse ne saurait être considérée comme un cas de force majeure, car il appartenait à la société de suppléer à l'insuffisance de sa production hydraulique en mettant en œuvre son installation de secours. La clause par laquelle la société limitait d'avance le montant des dommages-intérêts pouvant être dus, ne peut être considérée comme valable, car une telle clause aurait, en réalité, pour effet de l'autoriser à commettre des fautes, sans être tenue à réparation du préjudice résultant de ces fautes.

Dans son numéro du 18 avril, « La Journée industrielle » publiait, à la suite de nouveaux renseignements, la réponse suivante à la même question :

Réponse. — Nous complétons la réponse donnée dans notre numéro des 9 et 10 avril 1922 :

Il faut cependant distinguer les arrêts systématiques provenant d'une mauvaise organisation, de ceux qui ont été causés par la sécheresse de 1921.

La sécheresse de 1921 a eu évidemment, par son intensité anormale et en dehors de toutes prévisions, tous les caractères de la force majeure. Une société hydraulique, qui se trouve, par l'utilisation de la houille blanche, sous la dépendance de la sécheresse, doit pouvoir l'invoquer. Mais toute société hydraulique a généralement des usines thermiques de secours. Dans quelle mesure doit-elle faire fonctionner ces usines ? Doit-elle se contenter de leur demander le coefficient d'exploitation pour lequel elles auraient été créées ? Doit-on, au contraire, intensifier leur production à leur maximum au risque de les compromettre en leur demandant un travail pour lequel elles n'auraient pas été établies ? C'est là qu'est la difficulté.

La force majeure n'empêche pas l'exécution du contrat, même si l'exécution du contrat doit en être plus onéreuse ; mais encore faut-il que le contrat soit exécuté, tel qu'il existait entre les parties au moment où il a été conclu. Dire à une société : « Vous allez, à cause de la sécheresse, changer la nature de votre industrie et faire de votre production, qui était une production d'énergie hydraulique, une produc-

tion d'énergie thermique », arrive à changer la nature du contrat. Ce point de vue peut permettre aux sociétés hydrauliques de chercher à faire admettre par les tribunaux la sécheresse de 1921 comme force majeure.

Un jugement du Tribunal de Commerce d'Aix, du 27 mars 1922, paraît ouvrir la voie à cette manière de voir que nous ne pouvons qu'indiquer ; pour l'exposer complètement, il faudrait des développements qui nous entraîneraient trop loin.

Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux.

Le « Journal officiel » du 1^{er} mars 1922, publie, page 165 des « Débats parlementaires, Sénat » les questions et réponses suivantes.

4 886. — M. Ruffier, sénateur, demande à M. le ministre des Finances, si le commerçant qui, pour l'impôt cédulaire sur les bénéfices commerciaux et l'impôt général sur le revenu, a choisi, pour la détermination de ces bénéfices, le mode consistant à appliquer au chiffre d'affaires un coefficient fixé d'accord avec l'administration, peut être, dans le délai de cinq ans, frappé d'une pénalité fiscale ou d'un supplément d'impôt, si l'administration des contributions directes constate que le bénéfice ainsi établi est inférieur au bénéfice réalisé, toute idée de fraude étant écartée. (Question du 24 janvier 1922.)

Réponse. — D'après les dispositions en vigueur, les omissions et insuffisances de droits constatées en matière d'impôts sur les revenus, peuvent, quelle qu'en soit la cause, être valablement réparées jusqu'à l'expiration de la cinquième année suivant celle au cours de laquelle l'imposition aurait dû être établie.

D'autre part, si l'insuffisance constatée dépasse la limite fixée par la loi et si elle autorise à suspecter la bonne foi des redevables, ceux-ci peuvent être appelés à supporter les majorations de droits prévues en pareil cas.

Ces dispositions ont une portée générale et lorsqu'en particulier les bénéfices professionnels d'un contribuable, déterminés par application d'un coefficient à son chiffre d'affaires, ont fait l'objet d'une évaluation insuffisante, l'administration est fondée, quelles que soient les conditions dans lesquelles le coefficient a été primitivement fixé, à poursuivre, dans le délai susindiqué, le recouvrement des droits et des majorations de droits dus par l'intéressé au titre de l'impôt cédulaire et de l'impôt général sur le revenu.

4 888. — M. Calogone, sénateur, demande à M. le ministre des Finances quelle déclaration doit souscrire, pour l'impôt sur les bénéfices commerciaux de 1921, étant donné qu'il entend se placer sous le régime de l'article 4 de la loi du 31 juillet 1917, un commerçant qui, procédant habituellement à l'inventaire au 30 juin, avait été amené, en vue de ses déclarations pour la contribution sur les bénéfices de guerre, à faire des exercices coïncidant avec les périodes d'imposition de ladite contribution et qui, revenant à l'usage ancien, arrête maintenant son inventaire au 30 juin. (Question du 24 janvier 1922.)

Réponse. — Dès l'instant qu'il a été soumis à la contribution extraordinaire pour les bénéfices supplémentaires qu'il

a réalisés au cours du premier semestre 1920, le contribuable visé dans la question doit, aux termes de l'article 4 de la loi du 31 juillet 1917, être assujéti, pour 1921, à l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux d'après son bénéfice réel, et il n'avait aucune déclaration spéciale à souscrire pour l'établissement dudit impôt. Mais, conformément à l'article 5 de la même loi, l'intéressé est tenu de fournir au contrôleur les renseignements que cet agent pourrait lui demander, en vue de la détermination du bénéfice net devant servir de base au calcul de l'impôt.

4889. — M. Catalogne, sénateur, demande à M. le ministre des Finances — comme suite à la question précédente — si sa déclaration de bénéfices de guerre de la dernière période le dispense d'une seconde déclaration au contrôleur et s'il peut compter que son impôt cédulaire de 1921 sera établi seulement sur les bénéfices du premier semestre de 1920. (Question du 24 janvier 1922.)

Réponse. — Ainsi qu'il résulte de la réponse à la question précédente, le contribuable en cause n'a aucune déclaration à souscrire en vue de l'établissement de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux afférents à l'année 1921.

D'autre part, dès l'instant que l'intéressé a dressé un bilan au 30 juin 1920 et que, depuis cette époque, il a définitivement reporté du 31 décembre au 30 juin de chaque année la date de clôture de son exercice commercial, il convient d'admettre, à titre exceptionnel, que l'impôt cédulaire dont il est redevable pour 1921 soit établi d'après les bénéfices qu'il a réalisés, au cours du premier semestre 1920.

Sur les personnes ayant droit à la carte d'identité des voyageurs et représentants de commerce.

Les deux réponses suivantes publiées au « Journal officiel » du 29 mars 1922, page 1199 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », fixent ce point.

12896. — M. Grinda, député, demande à M. le ministre du Commerce si les chefs de maisons, administrateurs de sociétés ou employés qui visitent accidentellement la clientèle doivent se munir de la carte d'identité professionnelle à l'usage des voyageurs et représentants de commerce établie par la loi du 8 octobre 1919 et si, comme cela paraît probable, ils n'y sont pas assujéti, de quelle pièce ils doivent être munis pour justifier immédiatement de leurs qualités, afin de ne pas s'exposer à des poursuites du fait qu'ils ne seraient pas en possession d'une carte de voyageurs de commerce. (Question du 10 mars 1922.)

Réponse. — La carte d'identité professionnelle établie par la loi du 8 octobre 1919 est réservée exclusivement aux voyageurs et représentants de commerce et ne peut en conséquence être délivrée aux chefs de maisons, administrateurs de sociétés ou employés qui visitent accidentellement la clientèle. Mais les commerçants, chefs de maisons et les administrateurs de sociétés peuvent facilement justifier de leur qualité en produisant la preuve de leur immatriculation personnelle ou de l'immatriculation de leur société au registre du commerce, institué par la loi du 18 mars 1919. Quant aux employés, il leur suffit d'être muni, par leur employeur, de pièces attestant qu'ils sont au service d'un commerçant ou d'une société régulièrement inscrite au registre du commerce.

13127. — M. Barthe, député, demande à M. le ministre du Commerce si une personne attachée à une seule maison de commerce à titre d'employé salarié, et vendant, au dehors, des marchandises pour le compte de cette maison, doit avoir la carte d'identité prescrite par la loi du 8 octobre 1919, ou

bien si elle est en règle lorsqu'elle justifie, par la présentation d'une déclaration écrite de son patron, qu'elle opère, en qualité de commis ou d'employé, pour le compte d'une maison régulièrement inscrite au registre du commerce. (Question du 22 mars 1922.)

Réponse. — La carte d'identité professionnelle établie par la loi du 8 octobre 1919 est réservée exclusivement aux voyageurs et représentants de commerce et ne peut en conséquence être délivrée aux employés salariés d'une maison de commerce visitant la clientèle particulière pour vendre des marchandises. Il suffit que ces employés soient munis, conformément à l'article 7 de la loi de finances du 31 décembre 1921, de pièces attestant qu'ils sont au service d'un commerçant ou d'une société commerciale régulièrement inscrits au registre du commerce.

Sur l'application des impôts sur les revenus : détaxe pour diminution de revenus des assujéti taxés d'office.

Le « Journal officiel » du 11 avril 1922 publie, p. 1476 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse suivantes :

13039. — M. Charles Leboucq, député, demande à M. le ministre des Finances si, lorsqu'un certain nombre d'assujéti n'ont pas fait de déclaration pour le premier exercice (1914-1915) et ont été taxés d'office, que la dernière période (1920) fait ressortir un déficit et qu'ils demandent une détaxe à valoir sur les impositions des périodes précédentes, l'administration est fondée à leur opposer une fin de non-recevoir. (Question du 17 mars 1922.)

Réponse. — La circonstance que, pour première période d'imposition, ils ont été imposés par voie de taxation d'office n'est pas de nature à priver les contribuables, qui, au cours d'une période ultérieure, ont éprouvé un déficit par rapport à leur bénéfice normal, du bénéfice de la détaxe à laquelle ils peuvent avoir droit, s'ils remplissent toutefois, par ailleurs, les conditions prévues par l'article 17 de la loi du 25 juin 1920.

Sur l'application de l'impôt général sur le revenu au montant des actions distribuées gratuitement.

Le « Journal officiel » du 11 avril 1922 publie, p. 1475 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

12825. — M. Jourdain, député, demande à M. le ministre des Finances si, pour une société qui distribue à ses actionnaires des actions gratuites, la valeur nominale desdites actions doit être considérée, au point de vue de la déclaration de l'impôt général sur le revenu, comme un revenu pour l'année de cette opération, ou seulement comme un accroissement de capital dont les revenus supplémentaires seront à ajouter naturellement aux déclarations annuelles futures, ajoutant que cette question concerne les actionnaires et non la société. (Question du 7 mars 1922.)

Réponse. — Lorsque des actions sont attribuées à titre gratuit aux actionnaires d'une société par actions, l'opération présente, au point de vue fiscal, le caractère d'une mise en distribution des bénéfices ou des réserves de la société et les intéressés doivent, dès lors, dans leur déclaration relative à l'impôt général sur les revenus, comprendre la valeur effective desdites actions parmi les revenus de l'année au cours de laquelle ces titres leur ont été délivrés.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e Année.

TOME XI. — N° 20.

20 MAI 1922.

Chronique. — Les courts-circuits et les incendies. — Bibliographie : L'apprenti électricien; générateurs, par G. NÉRÉ; L'élève électricien; transformateurs, par G. NÉRÉ, p. 729-730.

Le Groupe de l'Électricité à la Foire de Paris, p. 731.

Section scientifique et technique. — Essai d'une théorie synthétique des moteurs électriques (*suite et fin*), par V. GENKIN, p. 733. — Revues, analyses et informations : La réception des ondes entretenues sans lampes, p. 740; Remarques sur l'ionisation par action cumulative, p. 742.

Section industrielle. — Les disjoncteurs à rupture rapide et la protection contre amorçages d'arcs au collecteur des machines électriques, par V. CANDIE, p. 743. — Transformateur d'essais à 350 000 volts, par R. MASSOT et P. BUNET, p. 752. — Revues, analyses et informations : L'arc électrique dans l'industrie chimique, l'acide nitrique et les nitrates, p. 757; Essais sous 280 000 v sur la « Big Creek Transmission Line », p. 759; Locomotives monophasées B.B.C. à marchandises pour les chemins de fer des États prussiens et bavaarois, p. 760; Nouveau dispositif de protection d'un réseau à haute tension en cas de communication avec la terre de l'un des conducteurs, p. 761; L'amplification des faibles courants alternatifs, p. 762.

Section de législation. — Trois termes mal compris : régie, mise en régie, régie intéressée, par Paul BOUGAULT, p. 763. — Législation, jurisprudence, réglementation : Sur l'enregistrement des actes sous-seings privés concernant les engagements entre des sociétés et leur personnel, p. 768; Sur l'exonération de l'impôt sur le chiffre d'affaire des frais et honoraires d'expertises, p. 768; Cahier des charges-type pour la concession d'une distribution publique d'énergie électrique par une commune ou un syndicat de communes, p. 768.

Les courts-circuits et les incendies. — Le récent incendie du Casino de Paris, attribué par les informations de la presse quotidienne à un court-circuit, nous a valu de quelques-uns de nos lecteurs plusieurs remarques qu'il nous paraît utile de résumer ici.

En premier lieu, le fait que, sans preuve aucune, les court-circuits sont considérés comme les causes initiales de la plupart des incendies, indique que, dans l'esprit du public, l'emploi de l'électricité est considéré comme dangereux. Et cependant cet emploi se répand de plus en plus et sans que les usagers prennent de précautions spéciales pour se mettre à l'abri de ses dangers présumés. Il semblerait donc que, dans l'état actuel de l'opinion publique, l'électricité soit un agent dont il convient de se servir en raison des commodités qu'il procure, qui peut être utilisé le plus souvent sans inconvénients, mais qui peut aussi parfois engendrer des accidents qu'il est inutile de chercher à supprimer parce qu'ils sont inévitables.

D'après l'un de nos correspondants la responsabilité de cet état d'esprit est encourue, tout au moins pour la plus grande partie aux électriciens eux-mêmes. « Les installateurs, nous écrit-il, se discréditent en proposant des installations à trop bon marché; ils ne peuvent, en effet, pour le prix auxquels ils traitent, donner à leurs travaux tous les soins nécessaires. La clientèle qui, elle, n'a pas d'éléments d'appréciation, se base sur les offres qui lui sont soumises et, en voyant la légèreté avec laquelle parfois les travaux sont exé-

cutés, elle conclut qu'il n'y a pas lieu de prendre de précautions ». Il ajoutait : « Jusqu'à présent, on a eu principalement à déplorer des incendies; mais par la diffusion que nous cherchons à donner aux applications domestiques de l'électricité et, du fait que les applications nouvelles seront surtout faites en courant alternatif, nous avons à redouter, si nous n'y prenons garde, des accidents très fréquents, qui feront à notre industrie un tort considérable. »

Un autre de nos correspondants estime que la défec-tuosité des installations et les accidents qui en résultent proviennent de ce que la réglementation et le contrôle ne sont pas assez sévères, et il dit : « Une Commission du Syndicat professionnel des Industries électriques procède actuellement à la revision des règles concernant les installations; il serait à désirer qu'elle s'inspire avant tout du souci de bien faire plutôt que de chercher, par des règles trop élastiques, à permettre de réaliser des installations à bon marché et par conséquent dangereuses. »

Nos correspondants ont tous deux raison. Comme le proclame une maxime peinte sur les murs des salles affectées à l'industrie électrique à la Foire de Paris, « une installation électrique bien faite est sans danger ». Il faut donc veiller à ce que les installations mises entre les mains du public soient irréprochables.

Mais peut-on empêcher qu'un entrepreneur peu consciencieux ne cherche à s'attirer la clientèle par des bas prix en sacrifiant la qualité de ses fournitures et

de sa main-d'œuvre ! Si sévères que soient les règlements, il est à présumer qu'il pourra toujours s'arranger de manière à ce qu'ils soient respectés au moment où il livrera son installation. Il faudrait donc contrôler périodiquement et non moins sévèrement que cette installation répond toujours aux conditions des règlements. Un tel contrôle est à la rigueur possible pour les installations des théâtres, concerts, magasins, etc ; il est impossible pratiquement pour les installations intérieures d'appartements. On n'empêchera donc pas les abonnés des distributions d'électricité de « bricoler » à leur guise leurs installations au fur et à mesure de leurs besoins, et les dangers subsisteront.

A notre avis, il ne suffirait donc pas d'édicter des règlements sévères, lesquels risquent de devenir tracassiers et inquisitoriaux et que, d'ailleurs, les malins parviendront à éluder ; il conviendrait surtout de faire l'éducation du consommateur, lequel est trop enclin à considérer l'emploi de l'électricité comme sans danger parce que l'apprenti électricien de treize ans qui a monté son installation lui a fait constater avec crânerie qu'on peut mettre deux doigts sur les deux bornes d'une prise de courant sans ressentir autre chose qu'un picotement, peu agréable, mais inoffensif. Certes il apprend bien quelquefois par les journaux qu'un contact avec des conducteurs électriques peut occasionner des brûlures graves et même la mort, mais comme il ignore les conditions qui font que ce contact est tantôt inoffensif, tantôt dangereux, il s'accoutume facilement à l'idée que lui, personnellement, ne se trouvera jamais dans les conditions qui peuvent rendre le contact mortel. Il convient de les lui apprendre.

Il y a vingt à vingt-cinq ans, alors que l'éclairage électrique commençait à concurrencer l'éclairage au gaz, Mascart, dont il n'est pas besoin de rappeler ici les titres scientifiques, n'avait pas cru déroger en faisant des conférences publiques dans lesquelles il montrait expérimentalement que la lampe à incandescence, malgré qu'elle n'émette que peu de chaleur, est cependant capable de provoquer l'inflammation des tissus de laine ou coton lorsqu'on la met en contact avec ceux-ci. Des conférences du même genre dans lesquelles seraient exposés les dangers auxquels peut donner lieu l'emploi de l'électricité seraient des plus utiles aujourd'hui où cet emploi se répand de plus en plus dans les villes et dans les campagnes et où il est question d'augmenter la tension des réseaux ruraux afin d'en diminuer les dépenses d'installation.

Bibliographie : L'apprenti électricien ; générateurs. par G. Néré, ingénieur diplômé de l'Ecole supérieure d'Electricité de Paris, professeur de l'Enseignement technique (1). — Ce petit livre ne vise pas la vulgarisation des principes scientifiques qui permettent de comprendre le fonctionnement et l'utilisation des générateurs d'électricité ; il cons-

titue un excellent ouvrage d'enseignement, longuement médité, minutieusement préparé. L'étude, pour un apprenti électricien, d'un domaine aussi complexe que celui des générateurs électriques, sera désormais chose relativement facile ; M. Néré a accompli dans cette voie l'effort nécessaire ; il a surmonté, et non pas éludé, les difficultés ; et cependant son livre ne porte aucune trace d'effort. Les paragraphes, les chapitres se succèdent et s'enchaînent avec une logique parfaite ; les définitions sont précises, les classifications nombreuses, les comparaisons strictement suffisantes et non pas surabondantes ; des figures schématiques bien coordonnées accompagnent le texte : des tableaux de fonctionnement des appareils (accumulateurs), des tableaux de disposition des circuits (enroulement des alternateurs), des tableaux de valeurs numériques (piles, alternateurs, dynamos) permettent des comparaisons rapides et matérialisent les idées théoriques. L'arithmétique la plus simple, sans le secours de l'algèbre et de la trigonométrie, permet la compréhension totale de l'ouvrage et dispense l'auteur d'un exposé, toujours alourdissant, des principes du calcul.

Les deux premiers chapitres sont consacrés aux générateurs chimiques d'énergie (piles hydroélectriques) ; le chapitre suivant traite des générateurs réversibles (accumulateurs) ; les chapitres 4 et 5 décrivent la structure et le fonctionnement des générateurs mécaniques à courant alternatif (alternateurs) ; les cinq derniers chapitres se rapportent aux générateurs mécaniques à courant continu (dynamos bipolaires, trois chapitres ; dynamos multipolaires, deux chapitres).

Des exemples numériques, des problèmes résolus, des problèmes proposés (au nombre de 125) entraînent progressivement le lecteur, le documentent, éveillent son goût et son sens industriel. — J. R.

Bibliographie : L'élève électricien ; transformateurs. par G. Néré, ingénieur diplômé de l'Ecole supérieure d'Electricité de Paris, professeur de l'Enseignement technique (1). — Rédigé avec le même soin, et dans le même esprit, que le livre « L'apprenti électricien ; générateurs », celui-ci « L'élève électricien ; transformateurs » présente les mêmes qualités de clarté et de précision, la même méthode d'enseignement, d'entraînement et de documentation, par des questionnaires et des problèmes numériques. L'ordre d'exposition est le suivant :

Notions générales et classification des transformateurs. — Modification des qualités du courant continu (transmission d'énergie et transformateurs rotatifs). — Modification des qualités du courant alternatif (transformateurs statiques). — Transformation du courant alternatif en courant continu et transformation inverse. — Transformation du courant alternatif en courant redressé (soupape électrolytique Nodon, soupape à vibreur Soulier, soupape à vapeur de mercure). — Modification du nombre de phases des courants polyphasés (transformateurs de phases).

Nous ne voyons dans ce livre qu'une petite lacune ; elle est relative à l'emploi des cohérences et des lampes à trois électrodes comme redresseurs de courants. Etant donnée la maîtrise d'exposition dont il a fait preuve, M. Néré n'aura certainement aucune peine à réparer cet oubli dans une prochaine édition.

J. R.

(1) Un volume, format 18 cm × 12 cm, de 237 pages, de la collection « Le Livre de la profession », édité par la Librairie de l'Enseignement technique, 3, rue Thénard, Paris (Ve). Prix : broché, net 6 fr.

(1) Un volume, format 18 cm × 12 cm, de 128 pages, de la collection « Le Livre de la profession », édité par la Librairie de l'Enseignement technique, 3, rue Thénard, Paris (Ve). Prix : broché, net 3 fr.

Le Groupe de l'Électricité à la Foire de Paris

L'extension considérable prise par le Groupe de l'Électricité à la Foire de Paris montre l'intérêt que nos constructeurs attachent à y présenter leurs fabrications. Dans les lignes suivantes, M. Zetter retrace les principales étapes de la Foire depuis son origine, et insiste tout particulièrement sur le développement qu'a pris le Groupe de l'Électricité depuis que la Foire de Paris en a confié l'organisation au Syndicat professionnel des industries électriques, auquel l'Union des Syndicats de l'Électricité a donné son patronage.

La XIV^e Foire de Paris vient d'ouvrir ses portes, le 10 mai, inaugurée par M. Dior, ministre du Commerce, assisté de M. Strauss, ministre de l'Hygiène et de la Prévoyance sociale.

Le mercredi 17 mai, M. Millerand, Président de la République, l'honora de sa présence et, comme les ministres, il fut très frappé des efforts considérables fournis par l'industrie française et plus particulièrement par les constructeurs de matériel électrique et mécanique.

Au cours de la réception des exposants à l'Hôtel de Ville, le 10 mai, M. César Caire, président du Conseil municipal, et M. Roger, président de la Chambre de Commerce ont rappelé les modestes débuts de la Foire de Paris et montré les étapes franchies ensuite sur le chemin du succès.

L'origine de l'institution remonte à 1902. Dans l'esprit des organisateurs, elle s'adressait plus spécialement aux fabricants de jouets et d'articles de Paris. La première Foire se tint en 1903 au vieux marché du Temple et ce début, quoique satisfaisant, fut loin de faire augurer le brillant développement actuel.

Neuf foires se succédèrent jusqu'en 1914 ; l'enthousiasme du commencement s'affaiblit graduellement mais la ténacité et la persévérance des organisateurs devaient triompher de toutes les nombreuses difficultés rencontrées.

C'est en 1914 qu'une profonde transformation devait se produire, l'heure favorable allait enfin sonner. Le Conseil municipal de Paris avait, au printemps de cette même année, envoyé une délégation chargée d'étudier sur place le fonctionnement de la Foire de Leipzig, si ancienne et si renommée.

À la suite du rapport déposé par cette délégation, il se créa, en 1915, un nouveau comité comprenant certains membres de la Chambre de Commerce de Paris, du Conseil municipal, du Conseil général, diverses personnalités du commerce, de l'industrie et quelques membres de l'ancien comité.

La présidence en fut confiée à M. Roger, alors membre de la Chambre de Commerce et aujourd'hui son président, qui par son intelligente initiative parvint à donner à la Foire de Paris son ampleur si grande qui ne fait que s'accroître chaque année. Le champ d'action fut, dès le début, considérablement étendu par un appel à toute l'industrie française qui saisit avec empressement l'occasion de mettre annuellement en valeur les progrès se succédant si rapidement depuis le commencement du siècle.

Ainsi reconstituée et renouvée, la Foire de Paris se tint en 1917 sur l'Esplanade des Invalides qu'elle ne

devait plus quitter désormais, et bien que la France vécût alors des heures bien tragiques, bon nombre d'exposants eurent à cœur d'y montrer leur esprit d'entreprise et de perfectionnement.

Par la suite, la Foire empiéta chaque année sur de nouveaux emplacements, elle engloba successivement le Cours-la-Reine, le quai d'Orsay, l'avenue La Motte-Picquet et finalement la partie libre du Champ-de-Mars comprise entre les avenues de la Motte-Picquet, de la Bourdonnais et de Suffren, occupée autrefois par la Galerie des machines.

| | | |
|------------------------|-------|------------|
| En 1917, elle groupait | 1 500 | exposants, |
| 1919, | id | 2 500 id |
| 1920, | id | 3 500 id |
| 1921, | id | 4 000 id |

Cette année le nombre des exposants atteint 4500.

Dès maintenant, on laisse espérer que dès 1924, un emplacement spécial et définitif suffisamment vaste pour contenir le nombre sans cesse grandissant des exposants sera mis par la municipalité à la disposition du Comité de la Foire de Paris présidé aujourd'hui par M. Godet, membre secrétaire de la Chambre de Commerce de Paris.

Sa réputation est donc bien établie, elle est due à une bonne et sage administration, elle tient aussi à ce que la Foire correspond à un besoin réel.

En effet, c'est là que l'acheteur trouve sur place, groupés et présentés mieux que dans les plus beaux catalogues, tous les objets qui peuvent l'intéresser. Il peut les comparer, les juger et se rendre compte en quelques instants des améliorations apportées dans leur construction ou leur adaptation à leur but d'utilité. L'exposant, d'autre part, se renseigne sur l'orientation des désirs de la clientèle et la direction à donner à ses recherches ; il se rend compte des progrès de ses confrères, il met les siens en valeur et surtout il traite des affaires, favorisées par un courant d'émulation profitable à tous, producteurs et consommateurs.

Ainsi les foires, nées du manque de moyens de communication obligeant les marchands à offrir périodiquement à jour fixe leurs produits, et qui périliteraient peu à peu par l'amélioration des procédés de transport permettant la livraison rapide des objets de provenance éloignée, redeviennent à nouveau florissantes par le besoin de comparaison des perfectionnements journaliers imaginés par l'esprit humain.

La Foire de Paris est nationale, toutes les industries y sont représentées et toutes méritent le plus grand in-

térêt. Mais il faut se borner ici à examiner avec quelle importance la construction électrique y participe.

De 1917 à 1919, notre regretté collègue Eugène Sartiaux installa ce groupe, et sa voix si autorisée fut promptement entendue par de nombreux constructeurs. En 1920, le Comité de la Foire demanda au Syndicat professionnel des Industries électriques d'organiser le groupe de l'Électricité en mettant à sa disposition un hall de 1 000 mètres carrés, situé sur l'Esplanade des Invalides, et un certain nombre de boutiques.

En 1921, devant l'affluence des demandes il fut alloué au Syndicat deux halls et demi soit 2 500 mètres carrés ainsi que des boutiques, le tout installé cette fois au Champ-de-Mars. Grâce à la grande influence du Syndicat professionnel des Industries électriques, auquel l'Union des Syndicats de l'Électricité donna son patronage, les plus importants constructeurs participèrent à la foire.

Prévoyant pour 1922 l'importance grandissante de cette manifestation nationale, le Syndicat professionnel des Industries électriques institua un Comité d'Organisation dont les membres furent choisis parmi les représentants des principales industries électriques, tandis que l'Union des Syndicats de l'Électricité créa un Comité de Patronage, tous deux ayant un bureau commun. Le travail d'organisation fut considérable, car le Comité de la Foire avait mis à la disposition du Syndicat deux halls, bien plus importants que les précédents, représentant une surface totale de 3 600 mètres carrés ainsi que plusieurs boutiques.

Les exposants se présentèrent si nombreux qu'il fallut empiéter sur l'un des halls de la Mécanique, pour porter la surface totale utilisée à 3 800 mètres carrés.

Toutes les classes de la construction électrique y sont brillamment représentées. Pour faciliter aux acheteurs, dans la mesure du possible, la comparaison du matériel et objets exposés, des plaques placées au-dessus des stands indiquent aux visiteurs la classe dans laquelle ils se trouvent.

Au pourtour des halls et au-dessus des enseignes une série de devises rappellent avec une éloquente concision les bienfaits de l'électricité.

Ainsi, on lit, par exemple :

La construction électrique française résout tous les problèmes ;

Une installation électrique bien faite est sans danger ;

Avec et sans fil, l'électricité rapproche les distances, elle répand la pensée à travers le monde, etc...

Six allées séparent les stands dans le sens de la longueur et deux larges allées transversales les relient aux halls de la mécanique. On n'a pas négligé la ventilation, car au-dessus des vélums, des lanternes assurent une bienfaisante aération.

L'entrée est libre, en principe. Toutefois, aux jours d'affluence, samedis et dimanches, les visiteurs sont canalisés par des tourniquets permettant de les admettre dans les halls dès que l'espace y devient disponible.

Seuls, les porteurs de cartes d'acheteurs ou les personnes qualifiées munies des entrées spéciales délivrées par un guichet aménagé à cet effet peuvent pénétrer à tous moments dans les halls du groupe.

Le tableau ci-dessous indique la répartition des classes, le nombre de leurs exposants respectifs et les surfaces occupées par chacune d'elles.

| | | | |
|-------------------------------------|----|------------|----------------------|
| Force motrice..... | 51 | exposants, | 1 341 m ² |
| Appareillage..... | 54 | id | 1 017 |
| Eclairage..... | 33 | id | 525 |
| Chauffage..... | 17 | id | 309 |
| Téléphonie. — Radiotélégraphie..... | 24 | id | 295 |
| Appareils de mesure..... | 9 | id | 100 |
| Porcelaines..... | 5 | id | 90 |
| Canalisations..... | 6 | id | 61 |
| Syndicats. — Ecoles..... | 7 | id | 67 |

La comparaison de l'importance des halls de l'Électricité et des boutiques édifiés au Champ-de-Mars en 1921 et 1922 se résume comme suit :

| | En 1921. | En 1922. |
|--------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Surface totale des halls..... | 2 500 m ² | 3 800 m ² |
| Nombre d'exposants..... | 156 | 206 |
| Nombre d'exposants dans les boutiques..... | 32 | 14 |

Ainsi, d'une année à l'autre, la surface occupée a augmenté de moitié et le nombre d'exposants dans les halls, d'un tiers.

Par contre, les boutiques sont moins nombreuses en 1922 qu'en 1921, les constructeurs s'étant rendu compte du grand intérêt qu'ils ont à se grouper suivant leur spécialité et s'étant aussi aperçu que les visiteurs examinent plus volontiers les produits exposés à la vue de tous que ceux enfermés dans un local où il faut pénétrer tout exprès.

La diversité des produits exposés est frappante. On voit les génératrices, les alternateurs puissants ; on rencontre les transformateurs et le gros matériel de haute tension ; on remarque l'appareillage électrique, les appareils de chauffage et d'éclairage, les canalisations en cuivre et en aluminium. La téléphonie avec et sans fil et la radiotélégraphie, les appareils de mesure, la porcelaine électrotechnique y sont largement représentés ainsi que tous les accessoires de l'électricité.

Enfin, certains grands groupements et les écoles d'électricité les plus importantes de Paris ont tenu à affirmer l'intérêt qu'ils portent à cette manifestation en y montrant les travaux exécutés par eux.

Le Comité d'Organisation du Syndicat professionnel des Industries électriques a consacré les dernières matinées à la visite des halls, par diverses écoles de Paris, sous la conduite de professeurs s'étant, au préalable, rendu compte des spécialités intéressantes plus particulièrement leurs élèves qui retireront ainsi meilleur profit de leur visite.

Il est à souhaiter que les efforts accomplis par les exposants trouvent une juste compensation dans un mouvement de transaction si nécessaire à l'heure présente.

En parcourant les deux halls, il est réconfortant de constater la puissante vitalité de l'industrie électrique française, de voir les immenses ressources d'énergie qu'elle possède et qui lui permettront de traverser victorieusement les difficiles moments qu'elle connaît actuellement.

C. ZETTER,

Président du Groupe de l'Électricité

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Essai d'une théorie synthétique des moteurs électriques (Suite et fin) ⁽¹⁾

V. Conclusion. — Nous utiliserons les résultats ci-dessus dans l'étude sommaire de principaux types de machines. Dans ce but nous croyons utile de résumer les résultats obtenus.

1. RELATION ENTRE LA PUISSANCE ACTIVE ET LE COUPLE. — **1° Machines à champ elliptique.**

$$\Sigma EI \cos \varphi = \Sigma RI^2 + \omega_r (\Phi''_2 I''_1 - \Phi''_1 I''_2). \quad (4)$$

2° Machines à champ tournant

$$E'I' \cos \varphi' + E''I'' \cos \varphi'' = R_s(I')^2 + R_r(I'')^2 + \omega_r \sqrt{\Phi''I'}. \quad (4^{bis})$$

2. RELATION ENTRE LA PUISSANCE RÉACTIVE ET L'ÉNERGIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE. — **1° Machines à champ elliptique.**

$$\Sigma EI \sin \varphi = \omega T + \omega_r \sqrt{\Phi''_2 I''_1 - \Phi''_1 I''_2}, \quad (10)$$

2° Machines à champ tournant

$$E'I' \sin \varphi' + E''I'' \sin \varphi'' = \omega T - \omega_r \sqrt{\Phi''I'}. \quad (10^{bis}).$$

3. COUPLE EN WATTS SYNCHRONES. — **1° Machines à champ elliptique**

$$\omega C = \omega (\Phi''_2 I''_1 - \Phi''_1 I''_2). \quad (6)$$

2° Machines à champ tournant.

$$\omega C = \omega \sqrt{\Phi''I'}. \quad (6^{bis})$$

Dans le cas spécial des machines à induit en court-circuit les expressions du couple deviennent :

1° Machines à champ elliptique

$$\omega C = \frac{\frac{\omega_r}{\omega} R (I'_1)^2 + \frac{\omega_r}{\omega} R (I''_2)^2 + 2RI'_1 I''_2 \sin \psi}{1 - \left(\frac{\omega_r}{\omega}\right)^2}. \quad (9)$$

2° Machines à champ tournant

$$\omega C = \frac{R(I'')^2}{g}. \quad (9^{bis})$$

4. RELATION ENTRE LA PUISSANCE RÉACTIVE ET L'ÉNERGIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE DANS LE CAS DES MACHINES À INDUIT EN COURT-CIRCUIT.

$$\Sigma EI \sin \varphi = \omega T.$$

Afin d'illustrer la théorie générale nous l'appliquons à quelques machines-types.

Applications. — **1° MACHINES À CHAMP CONSTANT** (pour mémoire). — Exemple : Moteur à courant continu série (fig. 10).

Cette catégorie de machines n'est mentionnée que pour

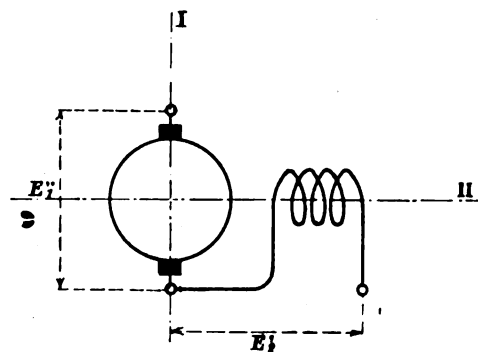


Fig. 10.

mémoire. Néanmoins nous appliquerons la théorie générale à un moteur série à courant continu pour montrer la nature des résultats auxquels on doit s'attendre en admettant les hypothèses faites au début de l'étude.

Désignons la résistance de l'inducteur par R_s et la résistance de l'induit par R_r . Les équations (1) se réduisent à

$$\text{Axe I : } E'_1 = IR_r + \omega_r \Phi''_2,$$

$$\text{Axe II : } E'_2 = IR_s.$$

Appelons M le coefficient d'induction mutuelle entre l'inducteur et l'induit de sorte que

$$\Phi''_2 = MI.$$

Si la tension d'alimentation du moteur est $E = E'_1 + E'_2$, l'équation de fonctionnement s'écrit

$$E = I(R_r + R_s) + \omega_r MI. \quad (12)$$

⁽¹⁾ R. G. E., 13 mai 1922, t. XI, p. 683-690.

La puissance absorbée par la machine est

$$EI = I^2(R_r + R_s) + \omega_r MI^2.$$

On voit que la transformation d'énergie électrique en énergie mécanique s'opère entièrement dans l'axe I.

Le couple mécanique est

$$C = \Phi''_1 I''_1 = MI^2.$$

2° MACHINES A CHAMP ALTERNATIF. — Exemple : Transformateur. — Les deux enroulements du transformateur sont situés dans le même axe. Les équations (1) deviennent pour $\omega_r = 0$

$$\left. \begin{aligned} E' &= j\omega\Phi' + I'R', \\ E'' &= j\omega\Phi'' + I''R''. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Exprimons les flux en fonction des coefficients d'induction

$$\begin{aligned} \Phi' &= L'I' + MI'', \\ \Phi'' &= L''I'' + MI'. \end{aligned}$$

Si l'on porte ces valeurs dans les équations (13), on obtient les équations du transformateur sous leur forme classique.

$$\left. \begin{aligned} E' &= R'I' + j\omega L'I' + j\omega MI'' \\ E'' &= R''I'' + j\omega L''I'' + j\omega MI'. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Appelons P'_a la puissance active absorbée par le circuit primaire et P''_a puissance active débitée par l'en-

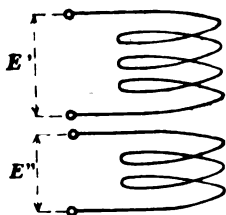


Fig. 11.

roulement secondaire. La relation générale (4) pour $\omega_r = 0$ permet d'écrire le bilan de la puissance active.

$$P'_a = P''_a + R'(I')^2 + R''(I'')^2.$$

La relation (10) conduit au bilan de la puissance réactive

$$P'_r = P''_r + \omega T,$$

où

$$T = L'(I')^2 + 2MIT'' \cos \psi + L''(I'')^2.$$

3° MACHINES A CHAMP ELLIPTIQUE. — a) Moteur asynchrone monophasé (fig. 12). — Dans ce cas, en posant $L'_1 = L'_2 = L'$

$$\left. \begin{aligned} \Phi'_1 &= L'I'_1 + MI''_1, \\ \Phi''_1 &= L''I''_1 + MI'_1, \\ \Phi''_2 &= L''I''_2. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Les équations de fonctionnement s'obtiennent en portant ces valeurs dans le système (1)

$$\begin{aligned} \bar{E}'_1 &= R_s I'_1 + j\omega L'I'_1 + j\omega MI''_1, \\ 0 &= R_s I''_1 + j\omega L'I''_1 + j\omega MI'_1 + \omega_r L'I''_2, \\ 0 &= R_s I''_2 + j\omega L'I''_2 - \omega_r L'I''_1 - \omega_r MI'_1 \end{aligned}$$

L'induit de la machine est en court-circuit. Il s'ensuit

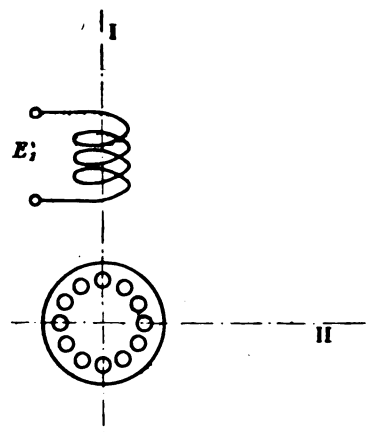


Fig. 12.

que la puissance réactive absorbée par la machine sera exprimée par la relation (11)

$$E'_1 I'_1 \sin \varphi = \omega T,$$

où

$$T = L'(I')^2 + 2MI''_1 I'_1 \cos \alpha + L''(I''_1)^2 + L''(I''_2)^2.$$

Pour la même raison, la puissance réactive et le couple seront déterminés par les relations (4) et (9)

$$E'_1 I'_1 \cos \varphi = R_s(I'_1)^2 + R_s(I''_1)^2 + R_s(I''_2)^2 + \omega_r C.$$

$$\omega C = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega_r}{\omega}\right)^2} \left[\frac{\omega_r}{\omega} R_s(I''_1)^2 + \frac{\omega_r}{\omega} R_s(I''_2)^2 + 2R_s I'_1 I''_2 \sin \psi \right].$$

On peut représenter le couple par une expression de forme différente en calculant directement la valeur de

$$C = \overline{\Phi''_1 I''_1} - \overline{\Phi''_2 I''_2},$$

$$\begin{aligned} C &= L'I''_1 I''_1 \cos \psi - L''I''_1 I''_2 \cos \psi - MI'_1 I''_2 \cos \gamma \\ &= -MI'_1 I''_2 \cos \gamma, \end{aligned}$$

où γ est la phase du courant I''_2 par rapport à I'_1 .

Cette dernière forme du couple fait ressortir le rôle du courant d'excitation (I''_2) de l'axe II dans la production du couple mécanique.

Les particularités de fonctionnement de ce moteur apparaissent très clairement si on considère le mouvement de la puissance dans chaque axe I et II séparément.

Les deux premières équations (15) fournissent la valeur suivante de la puissance active dans l'axe I

$$\text{Axe I : } E_1 I_1 \cos \varphi = R_s(I_1)^2 + R_r(I''_1)^2 + \omega_r L'' I''_1 I''_2 \cos \psi.$$

La dernière équation du groupe (15) permet d'établir le bilan de la puissance active dans l'axe II

$$\text{Axe II : } 0 = R_r(I''_2)^2 - \omega_r L'' I''_1 I''_2 \cos \psi - \omega_r M I''_1 I''_2 \cos \gamma.$$

Transformons les expressions obtenues à l'aide de la deuxième équation du groupe (15) en formant préalablement le produit vectoriel de cette équation par $\frac{\omega_r}{\omega} I''_2$

$$0 = \frac{\omega_r}{\omega} R_r I''_1 I''_2 \sin \psi + \omega_r L'' I''_1 I''_2 \cos \psi + \omega_r M I''_1 I''_2 \cos \gamma.$$

En éliminant la valeur $\omega_r L'' I''_1 I''_2 \cos \beta$, on obtient le bilan de la puissance active dans chacun des axes I et II sous la forme suivante

$$\begin{aligned} \text{Axe I : } & \left\{ \begin{aligned} E_1 I_1 \cos \varphi &= R_s(I_1)^2 + R_r(I''_1)^2 \\ &- \omega_r M I''_1 I''_2 \cos \gamma - \frac{\omega_r}{\omega} R_r I''_1 I''_2 \sin \psi. \end{aligned} \right. \\ \text{Axe II : } & 0 = R_r(I''_2)^2 + \frac{\omega_r}{\omega} R_r I''_1 I''_2 \sin \psi. \end{aligned} \quad (16)$$

On constate que la transformation de la puissance électrique en puissance mécanique s'opère entièrement dans l'axe I. Une fraction de puissance totale $\frac{\omega_r}{\omega} R_r I''_1 I''_2 \sin \psi$ est transmise par rotation dans l'axe II où elle sert à couvrir la perte Joule.

Par une opération analogue, on trouve le bilan ci-dessous de la puissance réactive dans les axes I et II

$$\begin{aligned} \text{Axe I : } & \left\{ \begin{aligned} E_1 I_1 \sin \varphi &= \omega L'(I_1)^2 + 2\omega M I''_1 I''_2 \cos \alpha \\ &+ \omega L''(I''_1)^2 + \frac{\frac{\omega_r}{\omega} R_r}{1 - \left(\frac{\omega_r}{\omega}\right)^2} I''_1 I''_2 \cos \psi. \end{aligned} \right. \\ \text{Axe II : } & 0 = \omega L''(I''_2)^2 - \frac{\frac{\omega_r}{\omega} R_r}{1 - \left(\frac{\omega_r}{\omega}\right)^2} I''_1 I''_2 \cos \psi. \end{aligned} \quad (17)$$

La puissance réactive totale absorbée par la machine dans l'axe I sert à maintenir l'énergie électromagnétique accumulée dans cet axe.

Une fraction

$$\frac{\frac{\omega_r}{\omega} R_r}{1 - \left(\frac{\omega_r}{\omega}\right)^2} I''_1 I''_2 \cos \psi$$

est transmise par rotation dans l'axe II où elle est utilisée à produire un flux transversal correspondant à la quantité d'énergie réactive $\omega L' (I''_2)^2$.

b) Moteur à répulsion non compensé (fig. 13). — Les équations de fonctionnement de cette machine s'obtiennent en posant

$$\begin{aligned} \Phi'_1 &= L'_1 I_1, & \Phi'_2 &= L'_2 I + M_2 I''_2, \\ \Phi''_1 &= M_1 I, & \Phi''_2 &= L''_2 I''_1 + M_2 I, \\ I'_1 &= I'_2 = I. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Axe I : } & E'_1 = j\omega L'_1 I + R'_1 I, \\ \text{Axe II : } & \left\{ \begin{aligned} E'_2 &= j\omega L'_2 I + j\omega M_2 I''_2 + R'_2 I, \\ 0 &= j\omega L''_2 I''_2 + j\omega M_2 I + R'_2 I''_2 - \omega_r M I. \end{aligned} \right. \quad (18)$$

Les deux équations de l'axe II se rapportent à un transformateur alimenté au primaire par une tension E'_2 et au secondaire, par une tension $\omega_r M_1 I$.

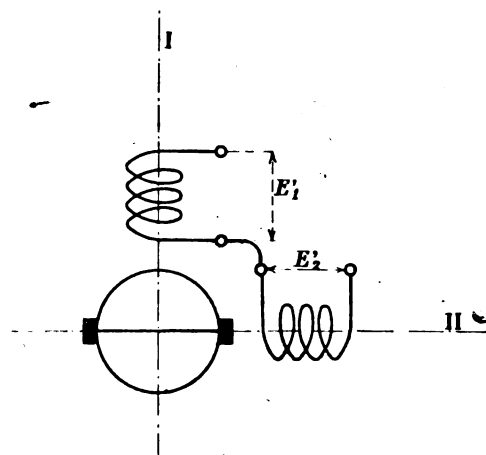


Fig. 13.

Les courants I et I''_2 traversant le primaire et le secondaire de ce transformateur sont presque en opposition.

Dans ce cas particulier, la relation (4) se rapportant à la puissance active s'écrit

$$E'_1 I \cos \varphi_1 + E'_2 I \cos \varphi_2 = (R'_1 + R'_2) I^2 + R(I''_2)^2 - \omega_r M_1 I I''_2 \cos \psi.$$

et le couple en watts synchrones

$$\omega C = -\omega M_1 I I''_2 \cos \psi.$$

Il est approximativement proportionnel à I^2 .

Le bilan de la puissance réactive s'écrit d'après la relation (10)

$$E'_1 I \sin \varphi_1 + E'_2 I \sin \varphi_2 = \omega T - \omega_r M_1 I I''_2 \sin \psi.$$

Les courants I et I''_2 étant sensiblement en opposition, la puissance réactive absorbée diffère peu de ωT , où T est l'énergie électromagnétique moyenne d'un transformateur situé dans l'axe II.

La transformation de la puissance active en puissance mécanique s'opère exclusivement dans l'axe II. Cela résulte de la relation

$$E'_1 I \cos \varphi_1 = R_1 I^2.$$

Par contre, la puissance réactive est dépensée principalement dans l'axe I où elle sert à fournir l'excitation de la machine

$$E'_1 I \sin \varphi_1 = \omega L'_1 I^2.$$

Quant à l'axe II, les circuits du stator et du rotor agissent comme le primaire et le secondaire d'un transformateur. L'énergie électromagnétique moyenne est donc faible dans cet axe.

c) *Moteur à répulsion compensé de Latour.* — Afin de mettre en évidence les particularités de fonctionnement de ce moteur, considérons d'abord l'induit seul entraîné mécaniquement et possédant deux paires de balais (fig. 14) dont l'une se trouve sous une tension E'_1 et l'autre est en court-circuit.

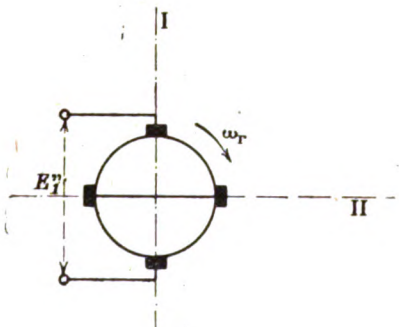


Fig. 14.

Les équations de fonctionnement de l'induit seul sont

$$\begin{aligned} E'_1 &= j\omega \Phi''_1 + \omega_r \Phi''_2 + I''_1 R_r, \\ 0 &= j\omega \Phi''_2 - \omega_r \Phi''_1 + I''_2 R_r. \end{aligned}$$

Posons $\Phi''_1 = L'' I''_1$ et $\Phi''_2 = L'' I''_2$, où L'' est le coefficient de self-induction de l'induit.

Les équations précédentes deviennent

$$\left. \begin{aligned} E'_1 &= j\omega L'' I''_1 + \omega_r L'' I''_2 + R_r I''_1, \\ 0 &= j\omega L'' I''_2 - \omega_r L'' I''_1 + R_r I''_2. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Cherchons les expressions de la puissance active et de la puissance réactive dans chaque axe.

1° Puissance active

$$\begin{aligned} \text{Axe I : } E'_1 I''_1 \cos \varphi_1 &= \omega_r L'' I''_1 I''_2 \cos \psi + R_r (I''_1)^2, \\ \text{Axe II : } 0 &= -\omega_r L'' I''_1 I''_2 \cos \psi + R_r (I''_2)^2. \end{aligned}$$

On voit que la puissance active totale absorbée par la machine est

$$E'_1 I''_1 \cos \varphi_1 = R_r (I''_1)^2 + R_r (I''_2)^2. \quad (20)$$

Par conséquent, il n'existe aucun couple. La puissance active absorbée par la machine est utilisée en partie à couvrir la perte Joule $R (I''_1)^2$ dans cet axe et en partie transmise par rotation dans l'axe II où elle est dépensée en chaleur.

2° Puissance réactive. — Le bilan de la puissance réactive dans chaque axe est

$$\begin{aligned} \text{Axe I : } E'_1 I''_1 \sin \varphi_1 &= \omega L'' (I''_1)^2 - \omega_r L'' I''_1 I''_2 \sin \psi, \\ \text{Axe II : } 0 &= \omega L'' (I''_2)^2 - \omega_r L'' I''_1 I''_2 \sin \psi. \end{aligned}$$

La puissance réactive totale peut s'écrire

$$E'_1 I''_1 \sin \varphi = \omega L'' (I''_1)^2 - \omega L'' (I''_2)^2. \quad (21)$$

Elle s'annule pour $I''_1 = I''_2$.

Or

$$\frac{I''_1}{I''_2} \sin \psi = \frac{\omega}{\omega_r} \quad \text{et} \quad \tan \psi = \frac{\omega L''}{R}.$$

La puissance réactive s'annule au synchronisme lorsque la résistance de l'induit est négligeable. Au-dessus du synchronisme la puissance réactive devient négative et l'induit produit l'effet d'un condensateur sur le circuit extérieur.

Passons maintenant au moteur de Latour représenté schématiquement sur la figure 15.

Remplaçons dans les équations générales (1) les flux

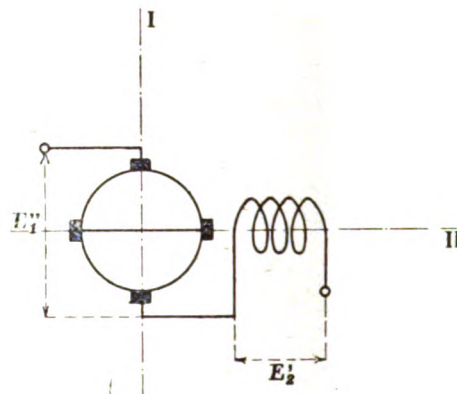


Fig. 15.

par leurs valeurs en fonction des coefficients d'induction

$$\begin{aligned} \Phi'_2 &= L'_2 I + M I''_2, \\ I''_1 &= I''_2 = I, \\ \Phi''_1 &= L''_1 I, \\ \Phi''_2 &= L''_2 I''_2 + M I, \end{aligned}$$

Les équations de fonctionnement du moteur sont

$$\left. \begin{aligned} \text{Axe I : } E'_1 &= j\omega L'_1 I + \omega_r L'' I''_2 + \omega_r M I + R_r I, \\ \text{Axe II : } \left\{ \begin{aligned} E_2 &= j\omega L'_2 I + j\omega M I''_2 + R_s I, \\ 0 &= j\omega L''_2 I''_2 + j\omega M I + R_r I''_2 - \omega_r L'_1 I, \end{aligned} \right. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Les deux équations de l'axe II se rapportent à un transformateur alimenté au primaire par une tension E''_2 et au secondaire, par une tension $\omega_r L''_1 I$.

Etablissons le bilan de la puissance active et de la puissance réactive dans chaque axe.

1° Puissance active

$$\begin{aligned} \text{Axe I : } E''_1 I \cos \varphi_1 &= \omega_r L''_2 I''_2 I \cos \psi + \omega_r M I''_2 + R_r I^2, \\ \text{Axe II : } E''_2 I \cos \varphi_2 &= R_s I^2 + R_r (I''_2)^2 - \omega_r L''_1 I I''_2 \cos \psi. \end{aligned} \quad (23)$$

Si on pose $L''_2 = L''_1$, la puissance active totale absorbée par la machine est

$$EI \cos \varphi = R_s I^2 + R_r I^2 + R_r (I''_2)^2 + \omega_r M I^2.$$

La valeur du couple est $C = M I^2$.

Transformons les équations (23) à l'aide de la troisième équation du groupe (22). Formons d'abord un produit vectoriel et ensuite un produit scalaire de la dernière équation par $\frac{\omega_r}{\omega} I$.

$$\begin{aligned} 0 &= \omega_r L''_2 I''_2 I \cos \psi + \omega_r M I^2 - \frac{\omega_r}{\omega} R_r I I''_2 \sin \psi, \\ 0 &= \omega_r L''_2 I I''_2 \sin \psi - \frac{\omega_r^2}{\omega} L''_1 I^2 + \frac{\omega_r}{\omega} R_r I I''_2 \cos \psi. \end{aligned} \quad (24)$$

Le bilan (23) peut s'écrire

$$\begin{aligned} \text{Axe I : } E''_1 I \cos \varphi_1 &= R_s I^2 + \frac{\omega_r}{\omega} R_r I I''_2 \sin \psi, \\ \text{Axe II : } \left\{ \begin{aligned} E''_2 I \cos \varphi_2 &= R_s I^2 + R_r (I''_2)^2 + \omega_r M I^2 \\ &- \frac{\omega_r}{\omega} R_r I I''_2 \sin \psi. \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (25)$$

Les relations (24) montrent que la transformation de la puissance électrique en puissance mécanique s'effectue dans l'axe II. La puissance absorbée dans l'axe I est dépensée presque exclusivement en chaleur.

Une faible partie $\frac{\omega_r}{\omega} R_r I I''_2 \sin \psi$ est échangée entre les deux axes par rotation.

2° Puissance réactive. — Ecrivons le bilan de la puissance réactive dans chaque axe.

$$\begin{aligned} \text{Axe I : } E''_1 I \sin \varphi_1 &= \omega L''_1 I^2 - \omega_r L''_2 I I''_2 \sin \psi, \\ \text{Axe II : } \left\{ \begin{aligned} E''_2 I \sin \varphi_2 &= \omega [L''_2 (I''_2)^2 + 2 \omega M I I''_2 \cos \psi \\ &+ L''_1 I^2] - \omega_r L''_1 I I''_2 \sin \psi. \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (26)$$

En désignant par T_2 l'énergie électromagnétique moyenne dans l'axe II, on peut écrire le bilan total sous la forme

$$EI \sin \varphi = \omega T_2 + \omega L''_1 I^2 - 2 \omega_r L''_2 I I''_2 \sin \psi, \quad (26bis)$$

Les relations (26) peuvent se transformer à l'aide de la deuxième équation (24). Tout calcul fait, on obtient

$$\text{Axe I : } E''_1 I \sin \varphi_1 = \omega \left[1 - \left(\frac{\omega_r}{\omega} \right)^2 \right] L''_1 I^2 + \frac{\omega_r}{\omega} R_r I I''_2 \cos \psi.$$

$$\text{Axe II : } E''_2 I \sin \varphi_2 = \omega \left[T_2 - \left(\frac{\omega_r}{\omega} \right)^2 L''_1 I^2 \right] + \frac{\omega_r}{\omega} R_r I I''_2 \cos \psi.$$

La puissance réactive totale absorbée par le moteur peut devenir négative. On peut le démontrer comme suit.

Le produit vectoriel de la troisième équation du groupe (22) par I''_2 est

$$0 = \omega L''_2 (I''_2)^2 + \omega M I I''_2 \cos \psi - \omega_r L''_1 I I''_2 \sin \psi.$$

Nous pourrions éliminer le terme $\omega_r L''_1 I I''_2 \sin \psi$ qui figure dans l'expression (26) de la puissance réactive totale à l'aide de cette dernière relation

$$EI \sin \varphi = \omega [L''_2 (I''_2)^2 + 2 \omega M I I''_2 \cos \psi + L''_1 I^2] + \omega L''_1 I^2 - 2 \omega L''_2 (I''_2)^2 - 2 \omega M I I''_2 \cos \psi.$$

Finalement

$$EI \sin \varphi = \omega (L''_2 + L''_1) I^2 - \omega L''_2 (I''_2)^2. \quad (27)$$

La puissance réactive totale peut devenir négative pour une valeur déterminée de I''_2 .

4° MACHINES A CHAMP TOURNANT. — a) Moteur polyphasé sans collecteur. — Les équations générales (1 bis) sont immédiatement applicables à ce cas.

On pose $\Phi' = L'I' + M'I''$, $\Phi'' = L''I'' + M'I'$, où Φ' et Φ'' sont les flux tournant résultants exprimés en fonction des coefficients cycliques d'induction.

Après l'introduction de ces valeurs dans les équations générales, on obtient

$$\begin{aligned} E &= R'I' + j\omega L'I' + j\omega M'I'' \\ 0 &= R''I'' + j(\omega - \omega_r) L''I'' + j(\omega - \omega_r) M'I'. \end{aligned} \quad (28)$$

En introduisant le glissement $g = \frac{\omega - \omega_r}{\omega}$, on retombe sur les équations dans leur forme habituelle.

Le couple de la machine est déterminé par la relation (9 bis) de la théorie générale.

$$\omega C = \frac{R''(I'')^2}{g}.$$

La puissance active absorbée par le moteur

$$EI \cos \varphi = R'(I')^2 + R''(I'')^2 + \omega_r \frac{R(I'')^2}{g}.$$

La puissance réactive absorbée par le moteur est

$$EI \sin \varphi = \omega T,$$

où

$$T = L'(I')^2 + L''(I'')^2 + 2 M I' I'' \cos \psi.$$

L'énergie électromagnétique se rapporte au système de deux nappes (fig. 16) tournantes décalées d'un angle

$$\psi = \arctg \left(- \frac{R''}{g} \frac{1}{\omega L''} \right).$$

b) *Transformateur statique à champ tournant.* — Le transformateur de la figure 17 est supposé diphasé. L'axe du rotor I' est décalé de α par rapport à l'axe du stator I dans le sens de rotation du champ.

Ecrivons les équations de fonctionnement de ce transformateur en supposant d'abord qu'on choisit



Fig. 16.

l'axe I comme origine du temps pour les vecteurs des tensions, des courants et des flux du primaire et l'axe I' comme origine du temps pour les vecteurs du secondaire. Désignons, comme avant, par Φ' et Φ'' les flux tournants résultant dans le primaire et dans le secondaire. Le flux Φ' se compose d'un flux propre du primaire rapporté à l'axe I et d'un flux provenant du

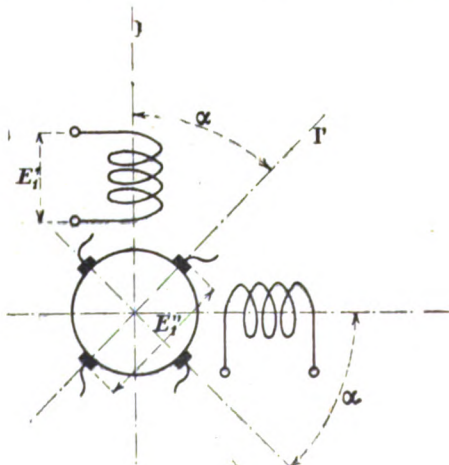


Fig. 17.

secondaire dont la phase est comptée à partir de l'axe I' en retard de α par rapport à I. On est amené ainsi à poser

$$\left. \begin{aligned} \Phi' &= L'I' + Me^{j\alpha}I'' \\ \Phi'' &= L''I'' + Me^{-j\alpha}I'. \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Il suffit de substituer ces valeurs dans les équations générales (1 bis) en posant $\omega_r = 0$ pour obtenir les équations de fonctionnement du transformateur sous la forme

$$\left. \begin{aligned} \bar{E}' &= R'I' + j\omega L'I' + j\omega Me^{j\alpha}I'', \\ \bar{E}'' &= R''I'' + j\omega L''I'' + j\omega Me^{-j\alpha}I'. \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

La discussion des équations (29) peut être conduite de deux façons différentes. On peut admettre que le système des circuits possède un coefficient d'induction mutuelle de la forme $Me^{j\alpha}$. On arrive ainsi à la notion des coefficients d'induction vectoriels de M. Blondel et au rapport de transformation complexe. La théorie d'un transformateur à champ tournant devient absolument identique à celle d'un transformateur ordinaire. Il suffit d'introduire à la place d'un rapport de transformation a un rapport complexe $a.e^{-j\alpha}$.

La deuxième manière d'opérer consiste à ramener l'origine des temps de tous les vecteurs à l'axe I, par exemple,

Il est évident que, dans ce cas, il faudra remplacer dans les équations (29) I'' par $I''e^{-j\alpha}$.

On trouve après avoir simplifié

$$\left. \begin{aligned} \bar{E}' &= R'I' + j\omega L'I' + j\omega MI'' \\ e^{j\alpha}\bar{E}'' &= R''I'' + j\omega L''I'' + j\omega MI' \end{aligned} \right\} \quad (29 \text{ bis})$$

Ce sont les équations d'un transformateur ordinaire dont le primaire est soumis à une tension E' et le secondaire à une tension $e^{j\alpha}E''$. Le problème se ramène donc à celui d'un transformateur ordinaire. La tension réelle aux bornes du secondaire est tout simplement retardée de α par rapport à celle qu'on obtiendrait dans le cas de coïncidence des axes I et I'.

La forme des équations (29 bis) prouve que la réaction du rotor sur le stator ne dépend pas du calage α du rotor.

De même que dans le cas d'un transformateur statique ordinaire, on peut établir un bilan de puissance pour un transformateur à champ tournant. La loi de la conservation des puissances active et réactive est exprimée par des relations générales (4 bis) et (10 bis).

En tenant compte des valeurs (28), on trouve :

1° Puissance active

$$P'_a = P''_a + R'(I')^2 + R''(I'')^2.$$

Il convient de remarquer que la puissance active est transmise du primaire au secondaire sous forme d'un couple

$$I'I''M \sin(\psi - \alpha),$$

où ψ est l'angle de retard du courant I'' par rapport à I'. Il faut se rappeler que l'origine des temps est l'axe I pour le courant I' et l'axe II pour le courant I'' , de sorte que $\psi = \alpha + \psi'$. On en conclut que le couple est indépendant de la position du rotor.

2° Puissance réactive

$$P_r = P''_r + \omega T,$$

où

$$T = [L'(I')^2 + L''(I'')^2 + 2MI'I'' \cos(\psi - \alpha)].$$

Pour la même raison l'énergie électromagnétique ne dépend pas du calage du rotor.

c) *Moteur à champ tournant à collecteur.* — Considérons d'abord le cas plus simple d'un induit seul,

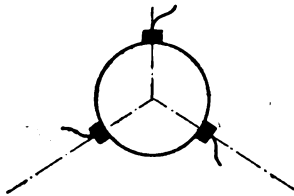


Fig. 18.

entraîné mécaniquement à la vitesse ω_r dans le sens de rotation du flux (fig. 18).

Le flux tournant se réduit au flux du secondaire Φ'' . Si on pose

$$\Phi'' = LI'',$$

la relation (10 bis) permet d'écrire la puissance réactive absorbée par l'induit à la vitesse ω_r sous la forme

$$\Sigma EI \sin \varphi = \omega T - \omega_r L (I'')^2.$$

L'énergie électromagnétique du système est, dans ce cas, simplement

$$T = L (I'')^2,$$

de sorte que l'expression de la puissance réactive prise par l'induit devient

$$\Sigma EI \sin \varphi = (\omega - \omega_r) L (I'')^2.$$

L'induit agit comme un condensateur pour toute vitesse hypersynchrone.

Passons maintenant au cas d'un moteur à collecteur.

Les équations de fonctionnement s'obtiennent comme dans tous les exemples précédents en portant dans (1 bis) les valeurs particulières des flux

$$\left. \begin{aligned} \bar{\Phi}' &= L'I' + Me^{+j\alpha}I'', \\ \bar{\Phi}'' &= L''I'' + Me^{-j\alpha}I'. \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

On obtient

$$\left. \begin{aligned} E' &= I'R_s + j\omega L'I' + j\omega M e^{+j\alpha}I'', \\ E'' &= I''R_r + j(\omega - \omega_r)L'I'' + j(\omega - \omega_r)M e^{-j\alpha}I'. \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

On peut introduire le glissement $g = \frac{\omega - \omega_r}{\omega}$ et

compter les phases de tous les vecteurs à partir de la même origine.

Dans ce cas, les équations (30) prennent la forme

$$\left. \begin{aligned} E' &= I'R_s + j\omega L'I' + j\omega M I'', \\ e^{j\alpha} E'' &= I''R_r + jg\omega L'I'' + jg\omega M I'. \end{aligned} \right\} \quad (31bis)$$

Ce sont les équations d'un moteur asynchrone polyphasé alimenté au primaire par une tension E' . Le circuit du rotor se trouve sous l'action d'une tension E'' avancée de l'angle α par rapport à sa phase réelle.

Il est utile de signaler que les équations (30) et (30 bis) supposent que tous les flux sont des flux tournants. En réalité les flux de fuite n'ont pas de caractère cyclique et ne contribuent pas à la production de la force électromotrice dynamique. Ce fait se traduit par la présence dans l'équation du rotor d'un terme de la forme $j\omega L''$.

Pour plus de simplicité, nous n'en tiendrons pas compte. Evaluons les valeurs de la puissance active et de la puissance réactive.

1° Puissance active

$$\Sigma E'I' \cos \varphi' = R_s(I')^2 + R_r(I'')^2 + \omega_r \bar{\Phi}'' I''.$$

Le deuxième membre se calcule au moyen des relations (30)

$$\bar{\Phi}'' I'' = \bar{M} e^{j\alpha} I' I'' = M \sin(\psi - \alpha) I' I'';$$

d'où le couple en watts synchrones

$$\omega C = \omega M \sin(\psi - \alpha) I' I'';$$

dans le cas d'un moteur-série, $I' = I'' = I$ et

$$\omega C = \omega M \sin(\psi - \alpha) (I)^2.$$

2° Puissance réactive. — La théorie générale aboutit à la relation

$$\Sigma E'I' \sin \varphi' = \omega T - \omega_r \bar{\Phi}'' I''.$$

Evaluons $\bar{\Phi}'' I''$ en utilisant les relations (30)

$$\bar{\Phi}'' I'' = L''(I'')^2 + M \cos(\psi - \alpha) I' I''.$$

Remplaçons, dans la relation précédente, $\Phi'' I''$ par cette dernière valeur; il vient

$$\Sigma E'I' \sin \varphi' = \omega T - \omega_r L''(I'')^2 - \omega_r M \cos(\psi - \alpha) I' I'', \quad (32)$$

L'expression (32) de la puissance réactive permet de supposer la possibilité d'un régime de fonctionnement pour lequel elle passe par zéro. Démontrons l'existence de ce régime dans le cas d'un moteur série et d'un moteur shunt.

Dans le cas d'un moteur série, $I' = I'' = I$ et l'expression (32) devient

$$\Sigma E'I' \sin \varphi' = \omega L I^2 + \omega M \cos \alpha I^2 + (\omega - \omega_r) L'' I^2 + (\omega - \omega_r) M \cos \alpha I^2.$$

La puissance réactive s'annule et le moteur fonctionne avec un facteur de puissance égal à 1, pour un régime ω , déterminé par la relation

$$\frac{\omega_r}{\omega} = 1 + \frac{L' + M \cos \alpha}{L'' + M \cos \alpha}.$$

Dans le cas d'un moteur shunt,

$$\Sigma E'I' \sin \varphi' = \omega L(I')^2 + \omega L''(I'')^2 + 2\omega M \cos(\psi - \alpha) I'I'' - \omega_r L''(I'')^2 - \omega_r M \cos(\psi - \alpha) I'I''.$$

$$\Sigma E'I' \sin \varphi' = \omega L(I')^2 + \omega M \cos(\psi - \alpha) I'I'' + (\omega - \omega_r) L''(I'')^2 + (\omega - \omega_r) M \cos(\psi - \alpha) I'I''.$$

Le régime pour lequel la puissance réactive s'annule satisfait à l'égalité ci-dessous, où $k = \frac{I'}{I''}$

$$\frac{\omega_r}{\omega} = \frac{k^2 L' + k \omega M \cos(\psi - \alpha)}{L'' + k \omega M \cos(\psi - \alpha)}.$$

d) *Moteur synchrone.* — Sans rien changer au principe de fonctionnement d'un moteur synchrone, nous pouvons supposer un entrefer régulier et l'enroulement inducteur réparti dans l'entrefer suivant la loi sinusoïdale. L'inducteur sera constitué par une nappe sinusoïdale tournante analogue à la nappe des courants du stator.

Désignons par I_c l'intensité de courant continu traversant l'enroulement de l'inducteur.

Grâce à la répartition sinusoïdale des courants, on pourra poser comme précédemment

$$\Phi' = L'I + M I_c,$$

$$\Phi'' = L'I_c + M I,$$

où I est l'intensité de courant dans l'enroulement de l'induit.

Les équations de fonctionnement deviennent

$$E' = j\omega L'I + j\omega M I_c + R'I, \text{ Induit.}$$

$$E'' = I_c R'', \text{ Inducteur.}$$

Etablissons les bilans de la puissance active et de la puissance réactive suivant les relations (4 bis) et (10 bis).

1° Puissance active

$$E'I \cos \varphi + E'' I_c = R'I^2 + R'' I_c^2 + \omega M I I_c \sin \psi,$$

où ψ est l'angle entre les axes des deux nappes tournantes.

Couple

$$\omega C = \omega M I I_c \sin \psi.$$

2° Puissance réactive

$$E'I \sin \varphi = \omega [L'I^2 + 2 M I I_c \cos \psi + L'' I_c^2] - \omega L' I_c^2 - \omega M \cos \psi I I_c. \quad (33)$$

$$E'I \sin \varphi = \omega L'I^2 + \omega M I I_c \cos \psi.$$

La puissance réactive s'annule pour un courant I non nul, si l'intensité du courant continu est réglée en conséquence. Elle est déterminée par la relation

$$L'I = - M I_c \cos \psi,$$

$$I_c = - \frac{L'I}{M \cos \psi}.$$

Cette dernière égalité est satisfaite pour $\psi > 90^\circ$.

L'examen des bilans (32) et (33) de la puissance réactive dans les machines à champ tournant à collecteur ou synchrones conduit à la conclusion suivante :

La puissance réactive peut être fournie à la machine soit par induction sous la forme ωT , soit par rotation sous la forme

$$\omega_r [L''(I'')^2 + M I I'' \cos \psi],$$

où ψ est l'angle entre les axes des deux nappes tournantes.

Un rotor traversé par un courant I'' équivaut, à la vitesse de ω_r , à un apport d'une puissance magnétique

$$\omega_r [L''(I'')^2 + M I I'' \cos \psi].$$

V. GENKIN.

Revue, analyses et informations

La réception des ondes entretenues sans lampes (1).

On sait que la réception des ondes entretenues se fait à peu près exclusivement au moyen de la méthode hétérodyne, les oscillations locales étant fournies par la lampe réceptrice elle-même ou par un oscillateur distinct. On peut donc s'étonner à priori du titre de l'article. L'auteur, estimant que le dernier mot du progrès ne sera pas forcément le tube à vide si en faveur actuellement, s'est proposé de rechercher

de nouvelles formes de détecteurs, d'amplificateurs et d'oscillateurs pour la réception, autres que le tube à vide. Celui-ci a incontestablement des avantages, mais il a aussi des inconvénients. Tout d'abord son rendement est faible; un tube à vide moyen prend les 6 dixièmes d'un ampère sous 4 v; il y a ainsi 2.50 à 3 w d'énergie consommée, indépendamment de celle de la batterie à haute tension. Avec 6 ou 8 amplificateurs, la dépense de courant est considérable. Enfin le tube à vide nécessite un accumulateur ou toute autre source de basse tension. Au point de vue détection, le tube à vide est plus facile à régler et plus constant que le cristal, mais il n'est pas beaucoup plus efficace. Comme amplificateur, il est le seul de son espèce et l'on

(1) P.-W. HARRIS. *The Wireless World*, 21 janvier 1922, p. 652-659, 6000 mots, 11 fig.

n'entrevoit rien pour le remplacer. Comme oscillateur le tube est désavantagé par son mauvais rendement.

Que peut-on donc employer pour remplacer le tube à vide comme détecteur. Il y a bien le tikker, mais son rendement n'est pas élevé en comparaison des récepteurs modernes. Le tikker est un interrupteur à vibrations, qui, dans sa forme originale, assurait le contact entre deux fils d'or vibrant l'un contre l'autre. L'auteur propose une autre forme de tikker comportant un interrupteur tournant à la place des fils vibrant. On obtient ainsi une note musicale. Le gros désavantage des tikkers est qu'ils donnent la même note (musicale ou non musicale) pour les signaux et pour les parasites.

Après avoir décrit quelques types de tikker, dont l'un consiste simplement en un fil reposant légèrement sur le bord d'un disque tournant autour d'un axe, un autre en l'association de deux buzzers, l'auteur arrive à l'introduction de la méthode hétérodyne de Fessenden. Le générateur était un petit alternateur à haute fréquence et l'on utilisait un téléphone électrostatique. On peut aussi employer un téléphone comportant deux enroulements différentiels.

Par suite de la grande difficulté d'obtenir une source de courant de haute fréquence parfaitement constant au point de vue fréquence, la méthode hétérodyne n'eut guère de succès avant l'apparition du tube à vide. L'essai des arcs à ce point de vue avait donné de piètres résultats.

Vint ensuite la roue tonique de Goldschmidt qui constituait un perfectionnement du tikker. Si l'on met en marche un tikker tournant à une vitesse suffisamment élevée pour fermer et rompre le circuit à la même fréquence que le courant de haute fréquence à détecter, on peut faire décharger le condensateur du circuit récepteur, chaque fois qu'il est chargé (par exemple) positivement. Si, alors, nous faisons tourner le tikker de façon synchrone, nous obtiendrons un courant parfaitement redressé, ou plutôt une série de pulsations qui donneront un courant constant. Si, cependant, nous faisons tourner notre tikker à une vitesse légèrement inférieure ou supérieure, la charge sera, par exemple, d'abord positive et au point le plus élevé des potentiels, au moment où la décharge s'effectuera; la décharge suivante aura lieu à un potentiel toujours positif, mais plus faible; une des autres décharges s'effectuera au point de potentiel nul; puis les décharges se feront pour des potentiels de plus en plus né-

de réception, en le faisant tourner à une bonne vitesse. Les plaques mobiles du condensateur ordinaire sont fixées à l'arbre d'un moteur et tournent, par exemple, à la vitesse de 300 ou 400 t. s. La capacité varie ainsi selon cette fréquence.

Voici une autre méthode qui donne une note musicale agréable. Le circuit est représenté fig. 1. Il consiste en un récepteur Marconi à cristaux équilibrés, auquel est connecté un circuit comprenant une self-induction L_2 et quatre condensateurs C_1, C_2, C_3 et C_4 ; le circuit L_1 comprenant une self-induction, un condensateur et un buzzer fournit de l'énergie au premier circuit. Les potentiomètres des deux cristaux sont réglés de façon que seuls de forts signaux affectent le récepteur. On actionne alors le buzzer. Chacune de ses interruptions donne naissance à une oscillation qui affecte les deux cristaux et permet le passage d'une pulsation de courant du condensateur C vers les téléphones. Si la fréquence du circuit L_1 est réglée de façon à être légèrement différente de la fréquence d'arrivée des signaux, les cristaux « s'ouvrent » progressivement d'une polarité à l'autre du condensateur C , donnant un effet semblable à celui de la roue tonique de Goldschmidt. Si les oscillations dans le circuit du buzzer sont d'intensité suffisante pour durer d'une interruption jusqu'à la suivante, une note hétérodyne pratiquement continue sera produite dans les téléphones; mais, si elles ne persistent pas suffisamment longtemps, il y aura combinaison d'une note de buzzer et d'une note hétérodyne.

Jusqu'ici, l'auteur n'a considéré que les dispositifs qui n'amplifient pas, mais les plus grands espoirs au point de vue de la réception sans lampes des ondes entretenues semblent résider dans les méthodes utilisant le principe de la dynamo. L'inventeur américain Shoemaker a employé le principe de l'alternateur pour l'amplification à basse fréquence et la production d'une note musicale en même temps. Son dispositif consiste en un petit alternateur donnant une note de 500 vibrations par seconde, par exemple, convenant à la réception à l'oreille; le courant redressé venant d'un détecteur à cristal est envoyé dans le champ de l'alternateur. On remarquera sur la fig. 2, que, quand aucun courant redressé

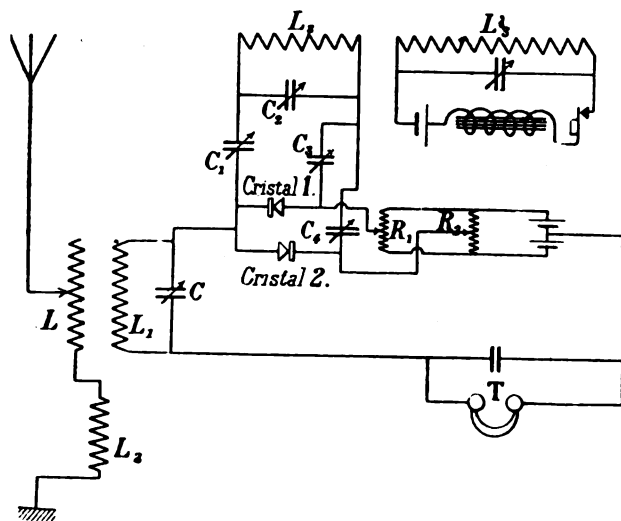


Fig. 1.

gatifs, jusqu'au point de potentiel négatif maximum. Il en résultera un « battement » semblable à la note donnée par l'hétérodyne.

Une autre méthode utilisée en Angleterre et aux États-Unis consiste à rendre variable la capacité du condensateur

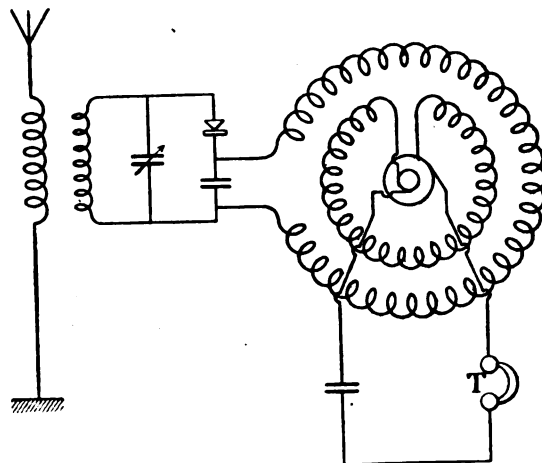


Fig. 2.

ne vient du cristal, il n'y a pas de courant inducteur et l'on n'entend rien dans les téléphones connectés à l'induit. Si, au contraire, un courant passe du redresseur à cristal vers les bobines inductrices, l'on entend une note musicale dépendant de la fréquence de l'alternateur. Or, non seulement l'on obtient cette note musicale, mais les signaux reçus sont considérablement amplifiés.

A moins, bien entendu, d'employer quelque forme d'hétérodyne ou d'interrupteur presque synchrone, on ne peut pas espérer différencier les parasites des signaux, mais il sem-

ble possible d'installer un amplificateur à dynamo à basse fréquence sur le même arbre que la roue de Goldschmidt au prix d'une très faible consommation totale d'énergie.
G. M.

Remarques sur l'ionisation par action cumulative ⁽¹⁾.

Horton et Davies ont récemment apporté la preuve de l'importance du rôle joué par les radiations dans les phénomènes d'ionisation, dans des cas où l'ionisation par impact direct est impossible ou improbable. Ces cas comprennent la formation d'arcs dans les vapeurs métalliques et dans l'hélium pour des différences de potentiel inférieures à ce qu'on appelle le potentiel minimum d'ionisation. Dans les gaz multiatomiques, on constate l'impossibilité de produire l'arc au-dessous du potentiel d'ionisation minimum, même en le stimulant par les courants thermoioniques les plus intenses que l'on sache produire. D'autres expériences sont en cours au sujet des arcs à faible différence de potentiel dans l'hydrogène atomique, et dans l'iode atomique, obtenus par dissociation des molécules correspondantes dans un tube de tungstène, incandescent.

Les deux caractéristiques des gaz monoatomiques, qui expliquent probablement la facilité relative avec laquelle éclatent dans ces gaz des arcs à faible différence de potentiel, sont l'élasticité des impacts d'électrons et la capacité que possède un atome quelconque d'absorber la radiation de résonance des atomes environnants. La première caractéristique permet à chaque électron de gagner une énergie suffisante pour pouvoir produire, par choc, rayonnement ou ionisation, et aussi d'accroître grandement le nombre des impacts le long de son trajet entre ces électrodes. La seconde caractéristique permet à la lumière, libérée par chaque impact d'électron qui donne lieu à un rayonnement, de passer d'atome à atome, et multiplie ainsi la proportion des atomes qui sont à l'état anormal, ou partiellement ionisés. Dans les gaz multiatomiques, cette double action ne paraît pas possible.

L'auteur a précédemment montré que l'ionisation dans les arcs à faible différence de potentiel ne peut être due aux effets d'impacts uniques, mais doit résulter de l'effet cumulatif de deux impacts ou plus. Il apporte ici une preuve de plus de cette manière de voir; il s'agit d'expériences portant sur l'ionisation de l'hélium et des vapeurs de mercure. Il résulte des mesures de l'auteur que, alors que l'ionisation par un seul impact peut être de première importance dans la décharge des tubes à gaz raréfiés (tubes de Geissler), l'ionisation par action cumulative prédomine dans les arcs traversant les gaz monoatomiques et les vapeurs.

Quelle est la nature de cette action cumulative? Quatre possibilités ont été suggérées. La majorité des atomes qui sont dans un état anormal ou partiellement ionisé peuvent se trouver dans cet état, soit du fait d'un précédent impact, soit par absorption de la radiation de résonance produite par des impacts d'électrons sur des atomes voisins. Le deuxième état d'ionisation complète peut être alors réalisé, soit par un nouvel impact d'électron contre l'atome anormal, ou par son ionisation photoélectrique due à la réception d'un supplément d'énergie radiante.

En cherchant à établir une théorie du phénomène de l'ionisation par impacts successifs directs, à la suite d'expériences sur l'hélium, l'auteur est arrivé à la conclusion que le degré d'ionisation observé est bien plus grand qu'on ne peut le prévoir par ce mécanisme. L'énergie de la radiation

de résonance des atomes environnants doit donc contribuer à l'apport d'énergie nécessaire pour produire l'ionisation.

D'après cela, s'il y a des impuretés présentes dans l'hélium, elles seront ionisées par voie photoélectrique, par la radiation de résonance de l'hélium. Goucher et d'autres ont, en effet, obtenu des phénomènes d'ionisation dans l'hélium au-dessous du potentiel d'ionisation, et ils les ont attribués à une telle ionisation photoélectrique des impuretés.

Il est raisonnable de supposer que l'ionisation cumulative devient un facteur d'importance croissante dans le phénomène d'ionisation d'un gaz, lorsque les circonstances deviennent plus favorables à l'action cumulative et moins favorables à l'ionisation directe par impacts uniques. On doit s'attendre, en conséquence, à ce que l'action cumulative soit particulièrement importante dans l'ionisation thermique des gaz et que, par suite, le rôle joué par les radiations, en favorisant l'ionisation thermique, soit alors très important.

Une illustration de l'importance possible d'une telle conception se manifeste dans ce fait qu'elle explique certains points encore obscurs de la théorie extrêmement intéressante et importante émise récemment par Saha sur l'ionisation dans la chromosphère solaire. Au moyen de l'équation de Nernst relative aux réactions isolaires, il calcule le degré d'ionisation des différents éléments, en traitant l'ionisation comme une dissociation, dont la chaleur de réaction est mesurée par le potentiel ionisant, et en supposant l'élément contenu dans une enceinte à la température T de la chromosphère solaire. Cela revient à supposer que l'élément est soumis aux bombardements moléculaires et à la radiation caractéristique du corps noir de température T . La théorie ainsi édiflée explique parfaitement les diverses particularités du spectre solaire. Russel a indiqué, cependant, qu'il y a plusieurs cas auxquels la théorie de Saha ne paraît pas s'appliquer. Par exemple, les potentiels d'ionisation du baryum et du sodium sont pratiquement égaux, et pourtant le baryum semble complètement ionisé dans la chromosphère, tandis que le sodium ne l'est pas: on n'observe, en effet, que les lignes renforcées du baryum, qui sont fortes, tandis que l'existence des lignes D du sodium manifeste l'abondance des atomes non ionisés.

Ces faits s'expliquent si l'on considère l'influence des radiations qui favorisent l'ionisation. Alors que l'énergie des bombardements moléculaires est caractéristique de la température T , la distribution spectrale de l'énergie radiante ne l'est pas, puisqu'elle est présente comme un flux extérieur, se propageant à partir des régions internes plus chaudes à travers la photosphère à absorption sélective. Divers facteurs, comme l'abondance, la masse atomique et l'affinité chimique, peuvent déterminer jusqu'à quel degré un élément de la chromosphère est protégé contre une radiation de son propre type de résonance par les couches de cet élément contenues dans la photosphère. Le spectre de Fraunhofer prouve l'existence de cet effet protecteur. Le sodium, dans la chromosphère, est soumis à des radiations dépourvues de ces longueurs d'onde particulières susceptibles de mettre ses atomes dans un état anormal; les longueurs d'onde efficaces vis-à-vis du baryum sont, au contraire, présentes. L'effet de ces types de radiations présentes dans la chromosphère solaire est par suite équivalent à une température effective plus basse ou à un potentiel effectif d'ionisation plus élevé pour le sodium que pour le baryum.

Ainsi, l'assimilation que fait Saha de la chromosphère à un corps noir n'est qu'une approximation de ce qui existe réellement, et des divergences peuvent se manifester, par rapport à cette manière de voir, en raison de l'absence de types de radiations particulièrement efficaces, que l'on observe dans le spectre de Fraunhofer.

L. B.

⁽¹⁾ K. T. COMPTON, *Phil. Mag.*, mars 1922, t. XLIII, p. 531-537, 2 500 mots.

SECTION INDUSTRIELLE

Les disjoncteurs à rupture rapide et la protection contre amorçages d'arcs au collecteur des machines électriques

L'électrification des réseaux ferroviaires français par courant continu à 1 500 et 2 400 v a posé avec une certaine acuité la question de protection des machines contre les amorçages d'arc au collecteur, communément appelés « flash » ; contre cet effet, différents remèdes, ont été proposés. Dans l'étude ci-après, l'auteur examine l'un d'eux, consistant dans l'emploi de disjoncteurs à rupture rapide.

Introduction. — L'amorçage d'arc entre lignes de balais auquel sont sujettes les machines à courant continu est un accident qui, sans être d'une très grande gravité, présente néanmoins de réels inconvénients.

Jusqu'alors, en raison des tensions peu élevées de 500 à 600 v, généralement employées, ce genre d'accident était peu fréquent et il semble même, tout au moins en France, que les ingénieurs se soient un peu désintéressés de cette question.

L'électrification des réseaux ferrés a remis ce problème à l'ordre du jour ; en effet, avec des tensions de 1 500 à 3 000 v, l'amorçage d'arcs au collecteur d'une machine peut se produire beaucoup plus facilement qu'avec des tensions plus faibles, et les conséquences en sont bien plus graves.

Les ingénieurs américains se sont depuis longtemps occupés de cette question et différents moyens sont employés par eux, soit seuls, soit combinés ensemble pour supprimer le flash.

Certains, tels que les barrières entre lignes de balais, ne semblent pas très efficaces, bien que la General Electric Company ait créé un type paraissant donner satisfaction ; encore ne l'emploie-t-elle que concurremment avec d'autres dispositifs.

Le seul moyen qui jusqu'à présent ait semblé vraiment efficace, a été de supprimer rapidement la cause provoquant le flash, en coupant le courant dans un temps extrêmement court, de l'ordre de quelques millièmes de secondes seulement, dès que l'intensité du courant atteignait une certaine valeur.

Cette rapidité de manœuvre est nécessaire pour éviter qu'une lame de collecteur, n'ait le temps de passer d'une ligne de balais à la ligne suivante. En effet, le flash est causé par un crachement intense des balais, dû à une charge excessive, l'étincelle prenant naissance au moment du passage d'une lame du collecteur sous une ligne de balais et s'allongeant suffisamment pour persister encore au moment où la lame atteint la ligne de balais suivante ; le temps nécessaire pour effectuer

ce trajet est de l'ordre de 0,01 seconde pour une commutatrice à 50 p. s.

Pour effectuer cette manœuvre et éviter ce genre d'accident, il est nécessaire de disposer de disjoncteurs à rupture extra-rapide, pouvant commencer à agir en un temps d'environ 8 à 10 millièmes de seconde, compté entre le moment où le court-circuit prend naissance et celui où l'intensité commence à décroître.

A cet effet, la Métallurgique Electrique, vient de mettre au point un premier appareil, du type dit rapide, pouvant opérer dans des temps comparables à ceux des appareils américains. Un deuxième type, dont la rapidité de fonctionnement sera de l'ordre de 4 à 5 millièmes de seconde, est actuellement en voie d'exécution. et un troisième type, plus rapide encore, est à l'étude.

Disjoncteur type rapide. — PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT. — Le principe de fonctionnement de ce type de disjoncteur est le suivant : un électro à fil fin A (fig. 1)

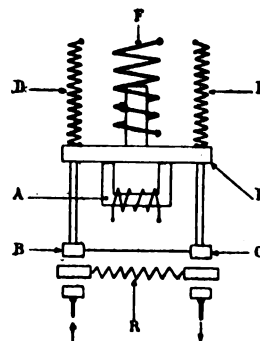


Fig. 1. — Schéma de principe du disjoncteur rapide.

maintient au collage une armature E assurant le contact entre les points B et C et court-circuitant la résistance R ; des ressorts D tendent à arracher l'armature E. Un solénoïde puissant F parcouru par le courant principal ajoute son action à celle des ressorts D.

et tend également à arracher le contact. Tant que l'intensité du courant dans F n'est pas trop importante, l'appareil ne déclanche pas ; au cas contraire, la force attractive de F augmente jusqu'au moment où elle est suffisante pour arracher l'armature E et attirer violemment les contacts mobiles, décourt-circuitant la résistance R. Les ressorts D précipitent le mouvement et donnent une accélération considérable à tout l'ensemble.

L'introduction de la résistance R dans le circuit a pour effet de faire tomber l'intensité à une valeur convenable et de permettre à un deuxième contact d'achever la rupture du courant.

APPAREIL D'ESSAIS ET SES MODIFICATIONS SUCCESSIVES. — L'appareil d'études avait été réalisé au moyen d'un disjoncteur type carter ayant déjà une assez grande rapidité de rupture (fig. 2). Cet appareil comporte une

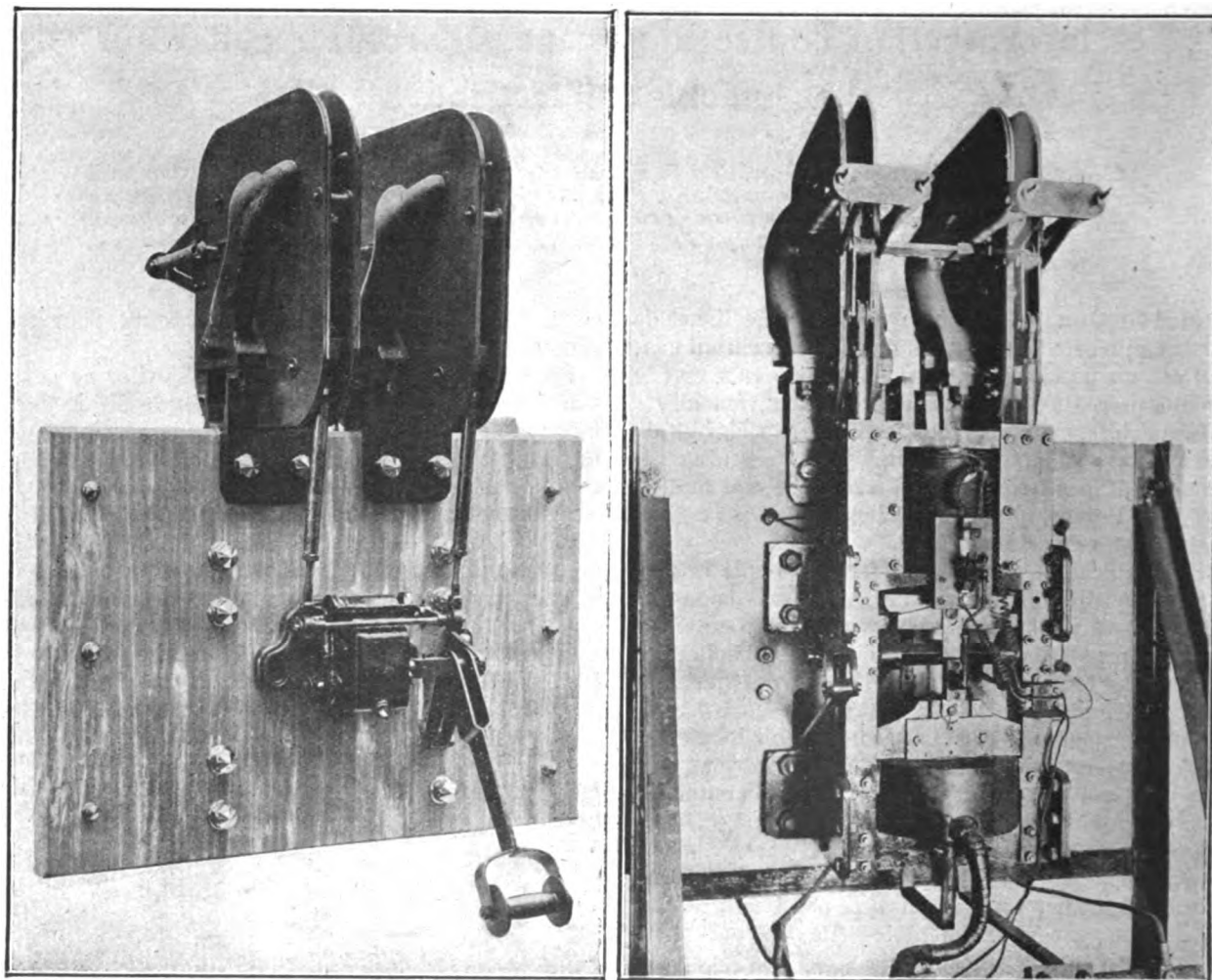


Fig. 2. — Vues avant et arrière du disjoncteur rapide.

partie mécanique appelée mécanisme carter, à déclanchement libre, qui permet de presser fortement sur des plots fixes, un dispositif de balais feuilletés avec pare-étincelles, constituant l'équipage mobile.

Il a fallu augmenter assez sensiblement la rapidité d'action de cet appareil, tout en conservant ses parties essentielles. A cet effet, le mécanisme carter et l'équipage mobile ne furent pas modifiés, mais les plots fixes furent rendus mobiles. Un électro-aimant à fil fin, parcouru par une dérivation du courant principal les maintenait en place pour assurer le contact ;

un solénoïde, en série sur le courant principal, tendait à vaincre l'attraction de l'électro-aimant fil fin et à arracher les contacts fixes, pour commencer ainsi, dans un temps extrêmement court, la rupture qui se trouvait achevée de la façon habituelle par les contacts mobiles mis en action par le mécanisme carter.

Cet appareil, construit rapidement et d'une façon très rudimentaire, a cependant permis d'effectuer les premiers essais et a déjà fourni des résultats extrêmement intéressants, car ce disjoncteur formait un véritable limiteur d'intensité, ne permettant pas au cou-

rant d'atteindre l'amplitude maximum qu'il aurait dû avoir d'après la résistance du circuit.

Ces résultats d'expérience ont conduit à étudier et à construire un second appareil beaucoup plus perfectionné qui, bien que basé sur le même principe

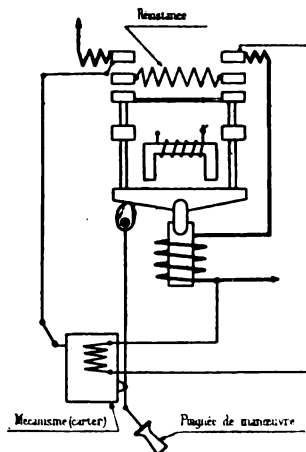


Fig. 3. — Schéma de détail du disjoncteur rapide.

général, comporte un certain nombre de perfectionnements intéressants.

Le mécanisme carter a encore servi de base, mais sa manœuvre se fait en deux temps. En levant la poignée de bas en haut (fig. 3), on arme l'électro-aimant de retenue et l'on ferme un premier jeu de contacts, à action rapide, court-circuitant la résistance auxiliaire ; en abaissant ensuite la poignée de haut en bas, on ferme un deuxième jeu de contacts assurant l'arrivée et le départ du courant.

Les contacts sont placés à la partie supérieure du marbre, au-dessus du mécanisme de commande ; ils sont doubles de façon à assurer une double rupture, l'appareil étant unipolaire.

Chaque contact est constitué par deux éléments principaux : un premier dispositif de deux plots mobiles sur lesquels se fait l'arrivée ou le départ du courant, relié au mécanisme carter et venant en contact sur la partie avant des plots fixes connectés à la résistance auxiliaire ; un deuxième dispositif de deux plots mobiles, venant en contact sur la partie arrière de plots fixes et servant au court-circuitage de la résistance auxiliaire, ce dispositif de plots étant relié par un ensemble de bielles et leviers au mécanisme accélérateur.

Chaque contact est soigneusement renfermé entre

deux flasques isolantes qui sont elles-mêmes placées entre les épanouissements d'un puissant électroaimant parcouru par le courant principal et servant au soufflage de l'arc.

Les électroaimants du mécanisme accélérateur sont fixés à l'arrière du marbre et reliés au contact mobile au moyen de bielles isolées.

L'ensemble de l'appareil est sensiblement moins volumineux que les modèles similaires construits en Amérique.

A. PREMIERS ESSAIS. — Avec le premier appareil d'étude, il a été procédé à une série d'essais dont les résultats sont matérialisés par les oscillogrammes représentés sur les figures 4 à 7.

Les premiers essais ont été faits sous des tensions de 120 et 320 v fournies par une puissante batterie de 800 A-h, n'ayant, par conséquent, aucune inertie magnétique à vaincre.

Le montage réalisé était celui représenté par le schéma de la figure 8. Un des équipages d'un oscillographe était monté en dérivation sur un shunt traversé par le courant principal, tandis que le deuxième équipement était relié à un circuit parcouru par un courant à 25 p/s, de façon à fournir une sinusoïde de contrôle pour l'étalonnage du temps ; un petit relais, commandé par le même arbre que l'obturateur de l'appareil photographique, assurait la mise sous courant au moment opportun.

Les intensités atteintes sont portées sur les oscillogrammes ; pour l'examen des temps, nous estimons

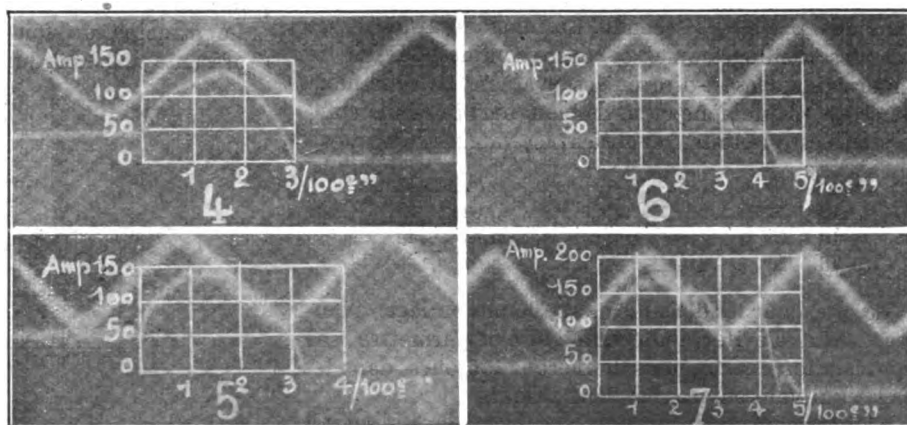


Fig. 4 et 5. — Oscillogramme d'essais fait à 120 v sur une batterie d'accumulateurs.

Fig. 6 et 7. — Oscillogramme d'essais fait à 320 v sur une batterie d'accumulateurs.

qu'il y a lieu d'envisager la question de la façon suivante.

On construit couramment aujourd'hui des machines pouvant supporter des à-coups, avec 100 et même 200 pour 100 de surcharge comme limite dangereuse pour la machine et le temps est seulement à compter entre le moment où cette intensité a été dépassée et celui où

elle y a été ramenée; dans ces conditions, nous avons établi le tableau suivant :

| Essais N° | Tensions en volts | Intensité maximum en ampères | Intensité de réglage en ampères | Temps en seconde |
|--------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| 1 | 120 | 125 | 222 | 0,015 |
| 2 | 120 | 148 | 280 | 0,017 |
| 3 | 320 | 138 | 215 | 0,020 |
| 4 | 320 | 165 | 260 | 0,027 |

Si les oscillogrammes donnés par les firmes américaines étaient analysés de cette façon, on remarquerait que les temps ne sont plus de 0,08 à 0,01 seconde,

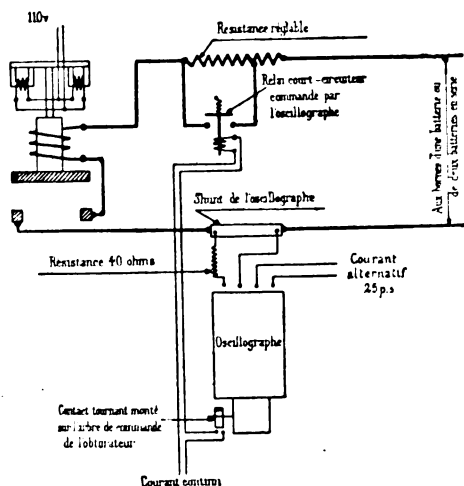


Fig. 8. — Schéma de montage des essais de disjonction.

mais de 0,015 à 0,02 seconde. En considérant les temps pour les oscillogrammes ci-contre comme l'ont fait les Américains, c'est-à-dire en les évaluant entre la naissance du phénomène et le moment où l'intensité commence à être réduite, on obtient les valeurs suivantes :

| | | |
|--------------|-------|---------|
| Essais N° 1. | 0,015 | seconde |
| Id N° 2. | 0,017 | id |
| Id N° 3. | 0,017 | id |
| Id N° 4. | 0,017 | id |

Ce qui, pour les deux derniers, donne un léger avantage. Afin d'éviter toute ambiguïté et permettre une appréciation exacte, nous donnerons toujours, dans les pages qui vont suivre, les deux valeurs.

Evidemment, les courants sur lesquels on opérait étaient faibles, mais il ne faut pas oublier qu'il s'agissait d'un appareil d'essais construit d'une façon rudimentaire, sans bobine de soufflage.

L'évaluation de l'intensité du courant a été faite directement par la mesure de la déviation sur les oscillogrammes. A cet effet, ces déviations ont été étalonnées d'après le montage représenté sur le schéma de la figure 9.

B. NOUVEAUX ESSAIS. — En raison des résultats satisfaisants de ces premiers essais, l'appareil a été modifié

à nouveau pour permettre un meilleur fonctionnement.

Tout d'abord, on a procédé à un réglage de la tension des ressorts, de façon que le temps de déplacement mécanique de la partie qui doit disjoncter rapidement

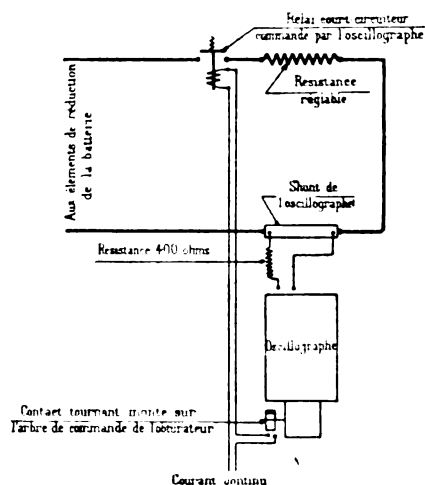


Fig. 9. — Schéma de montage des essais d'étalonnage.

soit de l'ordre de grandeur voulu, c'est-à-dire de 0,008 à 0,01 seconde.

Pour contrôler graphiquement si le fonctionnement s'exécutait bien dans les limites de temps imposées, on a employé un appareil spécial dénommé chronographe, construit par la maison Carpentier et imaginé par M. Joly pendant la guerre, pour mesurer la vitesse des projectiles.

Le principe de fonctionnement de cet appareil, représenté schématiquement sur la figure 10, est le

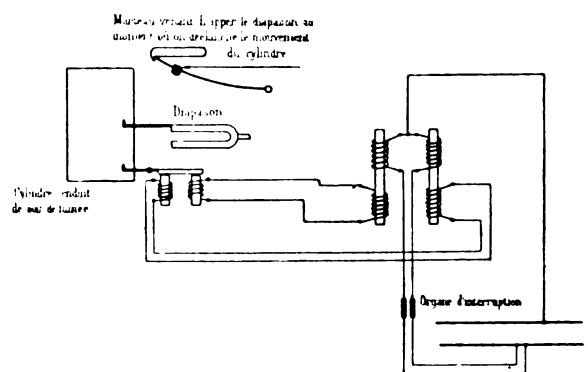


Fig. 10. — Schéma du chronographe Joly de la maison Carpentier.

suivant : un cylindre recouvert d'un papier enduit de noir de fumée peut se déplacer, par un mouvement hélicoïdal, en face d'un stylet porté par un diapason donnant 500 oscillations doubles par seconde. Ce stylet trace donc en hélice sur le cylindre une sinusoïde indiquant, entre deux maxima consécutifs, et d'un même

côté de l'axe de symétrie, un espace correspondant à 0,002 seconde. Un deuxième stylet, placé un peu au-dessous, extrêmement léger de façon à présenter une inertie très faible, est susceptible d'être attiré par un petit électro-aimant et de tracer ainsi, à cet instant précis, un léger crochet sur le graphique, alors que l'inscription est réduite à une droite lorsque l'électro-aimant n'est sollicité par aucun courant.

L'enroulement de l'électroaimant est alimenté par le secondaire d'un petit transformateur placé à l'intérieur du coffret contenant l'appareil et alimenté par du courant continu, de sorte qu'il n'y a aucun courant induit traversant l'électro-aimant. Si l'on vient à rompre rapidement le circuit inducteur, il y a une variation de champ dans le transformateur et un courant induit prend naissance ; le petit stylet est attiré et un crochet est inscrit ; tout cet ensemble transformateur et électro est double, ce qui permet au moyen d'une nouvelle rupture d'enregistrer un nouveau crochet ; l'un marque le commencement, l'autre la fin de l'expérience. Le nombre de périodes, représentées par la sinusoïde, comprises entre ces deux crochets permet d'évaluer en 0,002 seconde la durée du phénomène.

Pour effectuer l'essai du disjoncteur, on avait placé sur l'équipage mobile de cet appareil une lame venant couper successivement deux fils tendus en travers de son trajet, l'un immédiatement au commencement de la course, l'autre à la fin, chacun de ces fils étant compris dans le circuit de l'un des petits transformateurs du chronographe.

Les deux graphiques représentés sur la figure 11 indiquent les résultats obtenus. Dans le premier essai, on s'était contenté de provoquer la rupture en coupant le circuit de l'électroaimant de maintien (fil fin) du

disjoncteur ; les temps obtenus sont sensiblement de 0,015 seconde. Dans le deuxième essai, on avait provoqué le décollage en faisant passer un courant de forte intensité dans l'électro-aimant gros fil du disjoncteur ; il en est résulté une accélération supplémentaire du mouvement de la pièce mobile et les temps n'ont plus guère été que de 0,01 à 0,012 seconde, correspondant à une vitesse qui a été jugée suffisante, car il faut admettre que la rupture du circuit du disjoncteur est faite bien avant la fin de la course.

Essais de protection d'une génératrice au moyen d'un disjoncteur rapide.

— Ces essais ont été effectués au moyen d'une génératrice à courant continu à 125 v d'une puissance de 75 kw et entraînée par un moteur à gaz de 120 ch, muni d'un volant ayant un important moment d'inertie, ce qui lui permettait de recevoir des à-coups violents sans cependant modifier la vitesse d'une façon sensible.

Les connexions furent disposées, comme il est repré-

senté sur le schéma de la figure 12, de façon que, le disjoncteur rapide étant fermé, il suffise de commander électriquement à distance le contacteur pour mettre la machine en court-circuit franc.

La déflagration extrêmement violente, produite à cet instant, était semblable à un véritable coup de canon ; mais la machine n'avait même pas un crachement aux balais, le régulateur de vitesse n'avait pas à intervenir et plusieurs essais successifs purent être effectués dans les mêmes conditions de sécurité.

Et pourtant, ainsi qu'on peut s'en rendre compte par l'examen de l'oscillogramme de la figure 13, l'intensité était montée à 2 500 A, soit près de cinq fois l'intensité normale.

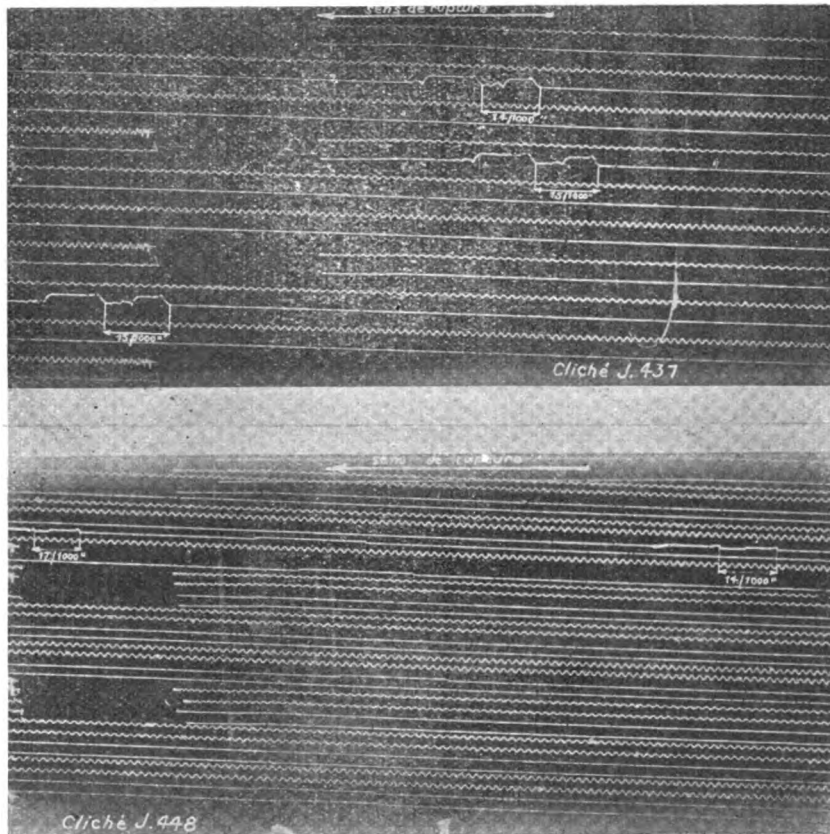


Fig. 11. — Graphique des vitesses de déplacement relevées au chronographe.

à une intensité de courant de court-circuit théorique de 2 000 A, soit cinq fois la charge de la machine. La disjonction s'est produite sans aucune étincelle aux balais et rien n'est apparu sur la plaque photographique. Deux oscillogrammes ont été à peu près réussis et, sur le plus net (fig. 15), l'amplitude de la déviation accuse une intensité maximum de 1 400 A. Le temps (compté comme les Américains) qui s'est écoulé entre la naissance du phénomène et le moment où l'intensité a commencé à être réduite a été de 0,011 seconde; en réalité, une partie de ce temps correspond à l'accroissement de l'intensité jusqu'à la valeur provoquant le déclenchement du disjoncteur et le temps d'action de celui-ci a été bien plus court.

Le temps qui s'est écoulé entre le moment où l'intensité a dépassé la valeur limitée par la résistance d'intercalation et celui où elle a été ramenée à cette valeur a été de 0,018 seconde. La résistance d'intercalation étant de 1 ohm, on aurait dû avoir une intensité de 600 A; l'oscillogramme accuse 540 A. Cette différence doit être due à une légère chute de tension de la commutatrice. Le temps total, jusqu'à la rupture du circuit a été de 0,044 seconde. Le deuxième oscillogramme (fig. 16) donne à peu près les mêmes chiffres.

Essai n° 3. — Cet essai a été fait avec le disjoncteur normal de la machine afin de servir de comparaison; à cet effet le disjoncteur rapide avait été court-circuité afin de ne pas agir. La résistance de court-circuitage était la même que pour les essais précédents. Contrairement à ce qui s'était passé pour les deux premiers essais, où aucune étincelle n'était visible, cette surcharge provoqua un flash très caractérisé ayant assez fortement marqué le collecteur et les balais; malheureusement l'oscillogramme ne fut pas réussi, mais, par contre, la photographie A de la figure 17 permet d'apprécier très nettement l'importance du coup de feu; de plus, fait montrant bien le temps important de durée du phénomène, la résistance d'absorption a fondu, les cavaliers de prise de courant se sont soudés et il a fallu remplacer les châssis. Il y a donc de ce fait augmentation sensible de la résistance, ce qui facilitait considérablement le travail du disjoncteur,

Essai n° 4. — Pour cet essai la résistance d'absorp-

tion était de 6 châssis de 1,2 ohm en parallèle, formant une résistance totale de 0,2 ohm correspondant à une intensité de courant de court-circuit théorique de 3 000 A, soit plus de sept fois la charge normale de la machine. L'oscillogramme a été pris dans une période de patinage du moteur et il a été impossible de s'en servir; sur la plaque photographique, rien n'est apparu, donc, pas d'étincelles perceptibles au collecteur.

Essai n° 5. — La résistance d'absorption était composée de 8 châssis de 1,2 ohms, en parallèle, formant une résistance totale de 0,15 ohm, correspondant à une intensité de courant de court-circuit théorique de 4 000 A, soit près de dix fois la charge normale de la machine. Il n'y a eu aucune étincelle perceptible au collecteur et la plaque photographique n'a rien enregistré. L'oscillogramme, par défaut d'éclairage de la lampe, n'a rien donné.

Essai n° 6.

— La résistance était composée de 12 châssis en parallèle, formant une résistance totale de 0,1 ohm, correspondant à une intensité de courant de court-circuit théorique de 6 000 A, soit quinze fois la charge normale de la machine. Quelques légères étincelles sont apparues aux

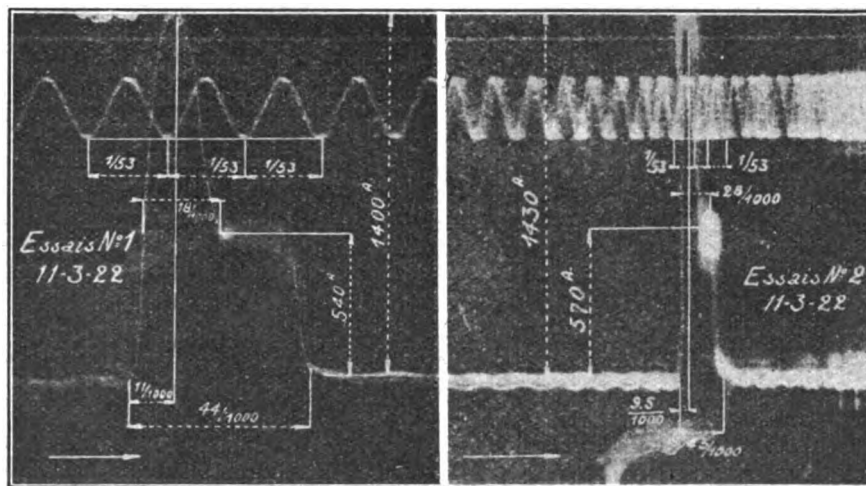


Fig. 15 et 16. — Oscillogramme essais du n° 1 et du n° 2 du 11 mars 1922.

balais, mais elles ne sont pas encore suffisantes pour être enregistrées par l'appareil photographique. L'oscillogramme A de la figure 18 bien que manquant un peu d'amplitude permet de voir que le temps qui s'est écoulé entre la naissance du court-circuit et le moment où l'intensité a commencé à être réduite, a été de 0,0056 seconde. Le temps pendant lequel l'intensité a été supérieure à celle limitée par la résistance auxiliaire a été de 0,021 seconde. Cette résistance ayant été réduite à 0,65 ohm, on aurait dû avoir pour le réglage de l'intensité, 920 A; l'oscillogramme accuse 840 A. Le temps total a été de 0,0415 seconde.

Essai n° 7. — La résistance d'absorption était composée de 16 châssis en parallèle représentant une résistance totale de 0,075 ohm correspondant à une intensité de courant de court-circuit théorique de 8 000 A, soit près de vingt fois la charge normale de la machine. Les étincelles sous les balais devenaient un peu plus importantes et ont pu être enregistrées par la plaque sen-

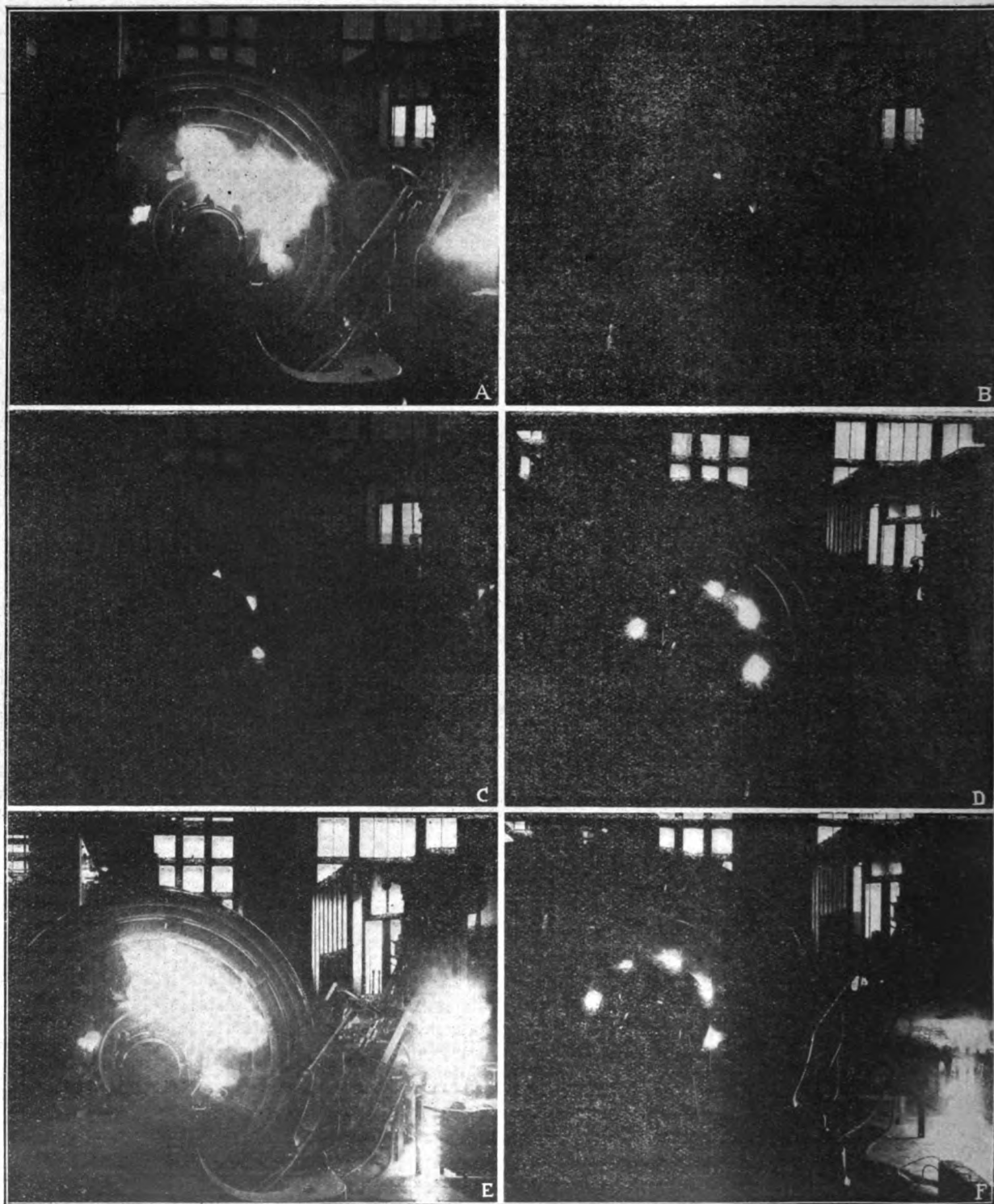


Fig. 17. — A. Photographie de la machine au moment de la rupture avec le disjoncteur ordinaire du tableau (3 fois la charge normale, sans disjoncteur rapide); B. Photographie de la machine au moment de l'essai n° 7; C. Photographie de la machine au moment de l'essai n° 8. (Plus de 10 fois la charge normale, protection par disjoncteur rapide); D. Photographie de la machine au moment de l'essai n° 9. (Plus de 15 fois la charge normale, protection par disjoncteur rapide); E. Photographie de la machine au moment d'un essai sur résistance de 0,4 ohm, protection par disjoncteur ordinaire; F. Photographie de la machine au moment d'un essai sur résistance de 0,4 ohm, protection par disjoncteur ordinaire et condensateur. La photographie de l'essai de protection par disjoncteur rapide et condensateur n'a pas été reproduite car, en raison de l'absence totale d'étincelles, ce cliché était entièrement noir.

sible; la photographie B de la figure 17 permet de les apprécier. L'oscillographe par défaut d'éclairage n'a rien donné.

Essai n° 8. — La résistance d'absorption était composée de 20 châssis en parallèle, représentant une résistance totale de 0,06 ohm correspondant à une intensité de courant de court-circuit théorique de 10 000 A, soit près de vingt-cinq fois la charge normale de la machine. Les crachements des balais ont augmenté un peu d'importance. La photographie C de la figure 17 permet de se rendre compte de leur éclat. L'oscillogramme B de la figure 18, se rapportant à cet essai accuse une déviation correspondant à 4 900 A. Le temps d'action a été de 0,012 seconde, le temps de dépassement de l'intensité limite, de 0,0155 seconde et, le temps total de 0,037 seconde.

Essai n° 9. — La résistance d'absorption était composée de 28 châssis en parallèle représentant une résis-

tance totale de 0,043 ohm, correspondant à une intensité de courant de court-circuit théorique de 14 000 A, soit près de trente-cinq fois la charge normale de la machine. Le volume des arcs sous les balais a beaucoup augmenté sans toutefois atteindre le flash; la photographie D de la figure 17 permet d'apprécier très nettement leur volume. En la comparant avec la photographie A, il est facile de constater l'énorme différence qui existe entre les deux essais. L'oscillogramme C de la figure 18, se rapportant à cet essai, accuse une déviation correspondant à une intensité de courant de court-circuit de 6 400 A. Le temps d'action a été de 0,011 seconde, le temps de dépassement de 0,018 seconde et le temps total de 0,034 seconde.

MESURE DE L'INTENSITÉ DE COURANT DE COURT-CIRCUIT. — Les mesures des intensités de courant de court-circuit ont été exécutées au moyen d'un galvanomètre shunté

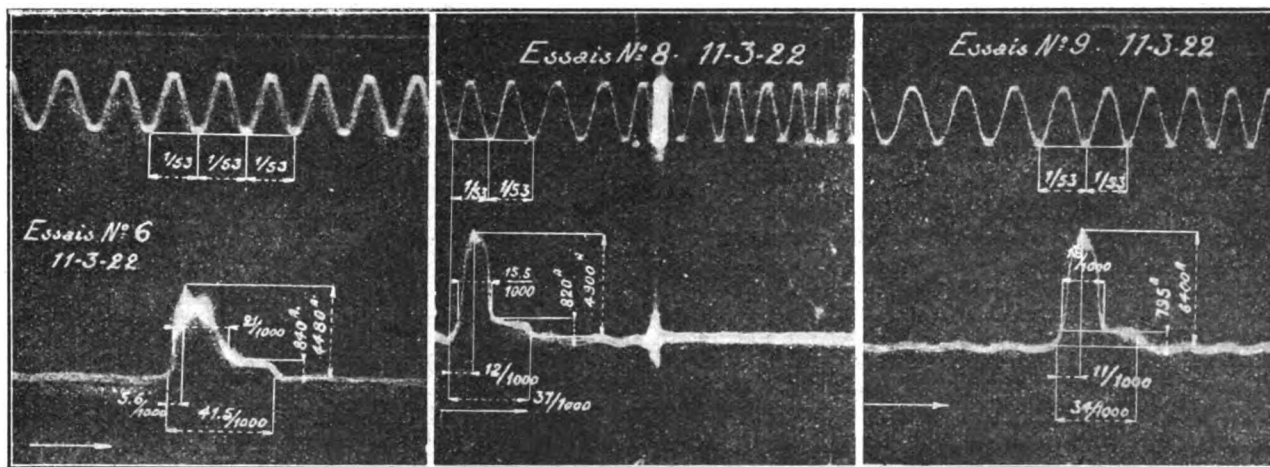


Fig. 18. — Oscillogrammes des essais n° 6, 8 et 9.

préalablement étalonné. La moyenne de différents essais d'étalonnage ont établi que, pour une différence de potentiel de 0,00815 V aux bornes du galvanomètre, la déviation du spot était de 1 mm. Les déviations obtenues au cours des essais d'intensité étant très petites, de l'ordre de 5 mm environ, on a admis que les variations de différence de potentiel aux bornes du galvanomètre étaient directement proportionnelles aux déviations du spot.

Le shunt des cinq premiers essais avait une résistance de 406 microhms. La déviation correspondante du galvanomètre était de 4,9 mm pour une intensité de courant dans le shunt de 100 A. Le shunt des trois essais suivants avait une résistance de 32,6 microhms; la déviation correspondante était de 3,9 mm pour une intensité de courant de 100 A. Dans le dernier essai, le shunt avait une résistance de 28,4 microhms et la déviation correspondante du galvanomètre était de 3,4 mm pour une intensité de courant de 1 000 A. Il a été aisé, avec ces données et sachant que la sinusoïde

de contrôle était à 53 p. s, d'évaluer les temps et les intensités enregistrées par les oscillogrammes.

Conclusions. — En résumé ces essais ont montré de façon très nette la supériorité du disjoncteur à rupture rapide, si l'on remarque que la résistance de court-circuitage du dernier essai correspondait à une valeur bien inférieure à celle de la ligne reliant la sous-station de Bezons au point de branchement le plus rapproché, c'est-à-dire au dépôt des voitures situé à peine à quelques centaines de mètres; du reste un fait caractéristique de la rapidité d'action est qu'aucun disjoncteur haute tension n'a déclenché.

Il y a lieu de noter que ces essais ont été faits avec un appareil qui était un modèle d'études, on peut donc espérer que l'appareil définitif donnera des résultats encore meilleurs.

Tous les autres dispositifs de protection tels que les « barrières anti-flash » entre les lignes de balais, les condensateurs branchés aux bornes de la machine etc.,

n'ont qu'une efficacité bien moindre et ne peuvent avoir quelque utilité qu'employés concurremment avec le disjoncteur rapide, lequel semble permettre une protection parfaite.

En ce qui concerne l'emploi d'un condensateur aux bornes de la machine, il a été possible de procéder à l'essai suivant :

Le disjoncteur normal de la commutatrice a été laissé en circuit, le disjoncteur rapide ayant été court-circuité pour ne pas agir ; la résistance sur laquelle on opérait avait été portée par mesure de précaution à 0,4 ohm correspondant à une intensité de courant de court-circuit théorique de 15 000 A, et un condensateur de 1 microfarad était branché en dérivation aux bornes de la machine. Le court-circuit déclenché dans ces conditions donnait lieu à un arc un peu moins violent qu'avec le disjoncteur ordinaire seul, mais encore appréciable ; les deux photographies E et F de la figure 17 permettent de comparer les résultats. Nous n'avons pas jugé utile de reproduire une troisième photographie sur laquelle on ne voit rien du tout, les étincelles ayant complètement disparu, ou, du moins, n'ayant pas eu le temps de prendre naissance, grâce à

la rapidité du fonctionnement du disjoncteur rapide, ce dernier ayant été intercalé dans le circuit.

Il faut noter que, dans les essais avec le disjoncteur ordinaire, la résistance, qui était composée de trois châssis en parallèle, a été portée au rouge ce qui correspond à une augmentation de résistance sensible facilitant, par conséquent, la rupture. L'un des châssis a même eu ses fils coupés par fusion du métal, ce qui, par suite, a porté la résistance à une valeur certainement bien supérieure à 0,6 ohm.

Avec le disjoncteur rapide au contraire, les résistances n'ont pas été détériorées.

Pour ne pas risquer d'endommager la commutatrice les essais n'ont pas été poussés plus loin.

En résumé, l'impression qui se dégage de l'ensemble des essais que nous venons d'énumérer est que le disjoncteur à rupture rapide constitue, à l'heure actuelle, le meilleur moyen de protection contre le flash des commutatrices et des génératrices à courant continu.

CANDIE,

Chef du service technique de la Société
La Métallurgie Électrique.

Transformateur d'essais à 350 000 volts

Les transmissions d'énergie à grande distance qui se développent actuellement en tous pays nécessitent l'emploi de tensions de plus en plus élevées. Quelques années à peine nous séparent du temps où la tension de 60 000 à 70 000 volts était une limite supérieure de la tension industrielle. En Europe nous comptons maintenant plusieurs transmissions à 110 000 ou 120 000 volts et les Américains ont atteint 220 000 volts. Le matériel (transformateurs, appareillage, isolateurs, câbles armés, etc...) doit être prévu pour supporter ces tensions avec une aussi grande sécurité que dans le cas des tensions moindres. Il doit donc pour cela subir des essais à plus haute tension, et il a fallu étudier et construire, en même temps que le matériel d'exploitation, des transformateurs d'essais capables de fournir les très hautes tensions ainsi requises, et suffisamment robustes pour résister à de fréquents claquages et armorçages d'arcs. Nous nous proposons dans cet article de donner les caractéristiques d'un transformateur de 350 000 volts entre borne et masse, du modèle réalisé par les Ateliers de Constructions électriques de Lyon et du Dauphiné et fonctionnant dans leur laboratoire de haute tension.

I. Considérations générales. — Ce transformateur, dont les figures 1 à 4 montrent l'ensemble, est du type à bain d'huile. Lors de l'étude préliminaire de cet appareil, le modèle à air libre, quoique séduisant à certains points de vue et quelquefois plus économique, fut écarté comme présentant une sécurité beaucoup moins grande, surtout à cause des condensations inévitables d'humidité.

La puissance doit être assez grande, et on est conduit à adopter dans le circuit à haute tension une intensité de l'ordre de 1 A, pour diverses raisons. Tout d'abord, les nécessités de construction avec toutes garanties de sécurité amènent à un encombrement des enroulements, une section minimum de conducteurs, des épaisseurs d'isolants qu'on ne peut réduire prudemment au-dessous de certaines limites. Il faut tenir compte aussi de ce que les essais ne doivent pas se faire dans des conditions trop différentes de celles auxquelles sera soumis

le matériel essayé lorsqu'il sera en service industriel ; les effluves, les étincelles disruptives ne doivent pas se produire avec de trop faibles puissances disponibles. Enfin certains essais nécessitent un courant de charge assez considérable à cause des fortes capacités ; le cas le plus commun de ces fortes capacités est celui de l'essai des câbles, lesquels se font maintenant pour des tensions de plus en plus élevées, puisque l'on parle de 60 000 V entre conducteur et terre.

A la fréquence f , à la tension U et pour la capacité C le courant est

$$I = 2\pi fCU,$$

et la puissance apparente

$$W = 2\pi fCU^2.$$

Ces câbles ont une capacité linéique de l'ordre de 0,15 à 2 pF : km.

L'essai avec 1 A permettra donc d'opérer sur une longueur l de câble égale à

$$l = \frac{10^6}{2\pi f U C_1} \text{ km,}$$

où C_1 est la capacité linéique que l'on admet égale à $0,17 \mu\text{F} : \text{km}$; avec $f = 50 \text{ p} : \text{s}$, la formule donne

$$l = \frac{10^6}{53,5 U} \text{ km}$$

Si on arrive à exiger un essai avec

$$U = 200000 \text{ v,}$$

on trouve ainsi $l = 0,3 \text{ m}$ seulement. Or on tient souvent à essayer à la fois des rouleaux de 200 m ou plus.

En essayant un câble à un conducteur prévu pour 60000 v normalement, de 100 mm^2 , dont la capacité linéique est de

$$0,17 \mu\text{F} : \text{km,}$$

selon les règles admises maintenant, soit :

Deux fois la tension normale + 40000 v, soit 160000 v pendant 3 mn, puis la tension normale + 40000 v soit 100000 v pendant 30 mn, on arrive respectivement à

$$W = 274 \text{ kv-A}$$

et $W = 107 \text{ kv-A}$, pour une longueur de 200 m en essai.

Les transformateurs d'essai à très haute tension ont été souvent prévus avec les deux bornes terminales isolées et le milieu de l'enroulement à la terre. L'isolement extrême ne doit être prévu dans ce cas que pour la moitié de la tension totale. Cette disposition, économique et plus facile de construction, présente des inconvénients dans le cas notamment où l'on doit

réunir à la terre une des extrémités de l'appareil à essayer, comme un transformateur, un interrupteur, ou encore une chaîne d'isolateurs à suspension dont la distribution de potentiel en service est déterminée par la mise à la terre d'un maillon extrême : il faut alors isoler le transformateur lui-même ce qui est difficile et dangereux. Pour toutes ces raisons la puissance normale a été choisie égale à 300 kv-v pour la fréquence normale 50 p : s et une extrémité a été mise en permanence à la terre, ainsi que les tôles et la cuve.

La troisième disposition que l'on aurait pu choisir, soit celle des deux bornes isolées susceptibles d'être mises l'une ou l'autre à la terre, a été écartée, car elle est généralement inutile et est beaucoup plus coûteuse. Au point de vue technique, elle n'offre pas plus de difficultés d'isolement que celle avec une extrémité à la terre,

mais l'isolement doit exister avec son importance maximum sur toute la longueur au lieu de décroître progressivement et le prix est considérablement augmenté de ce fait.

On peut sans difficulté réunir les circuits à haute tension de deux transformateurs semblables, ce qui permet d'obtenir 700000 v avec centre à la terre ; ce dispositif peut être utile pour certaines recherches particulières.

L'enroulement basse tension a été exécuté en conducteurs commodes à employer, ce qui a conduit à une tension de 0 à 5000 v, pour 0 à 350000 v au secondaire. Ce circuit secondaire est d'ailleurs divisé en quatre portions qui peuvent être groupées par deux ou quatre en parallèle, permettant les rapports de transformation

$\frac{5000}{350000}, \frac{5000}{175000}, \frac{5000}{87500}$.

L'alimentation se fait normalement au moyen d'un transformateur auxiliaire dont le circuit primaire est alimenté par une source réglable à basse tension, avec régulateur d'induction ou autre disposition.

Lors des essais, la tension très élevée est estimée par

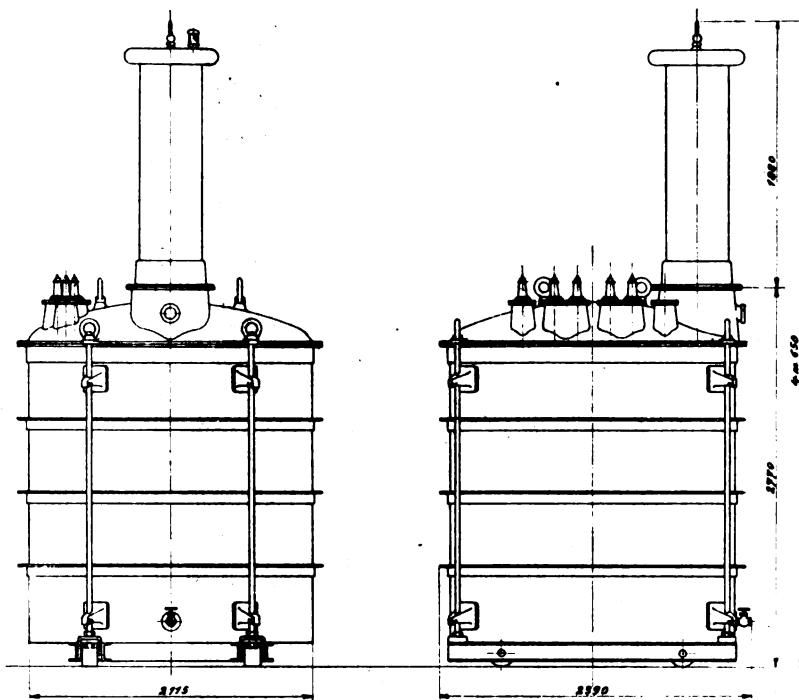


Fig. 1, 2 et 3. — Vues en élévation et en plan du transformateur d'essais à 350 000 v.

des éclateurs à sphères dont la disposition et les dimensions suivent des règles édictées à ce sujet par la Chambre syndicale des Constructeurs de Gros matériel; on a ainsi un contrôle des indications des voltmètres à basse tension, lesquels peuvent donner des indications exactes de la haute tension. Chaque genre d'essais a d'ailleurs une technique particulière à ce point de vue; dans l'essai d'un isolateur, par exemple, il est rationnel de comparer cet isolateur à une distance d'air donnée sans s'occuper de faire des lectures précises; au contraire, si on essaye un transformateur entre bornes extrêmes, la connaissance de la tension exacte est nécessaire. A ce point de vue, il est encore indispensable d'avoir un appareil puissant afin que le courant, déphasé en avant ou en arrière, ne modifie pas sensiblement le rapport de transformation; l'ensemble doit aussi être tel que des déformations considérables de la forme de tension ne se manifestent pas.

Toutes les connexions entre la haute tension du transformateur, les sphères et l'appareil en essai sont faites en tubes et sans arêtes vives. Normalement, une des sphères est connectée à la borne isolée avec interposition de résistances en série, de l'ordre total de 350 000 ohms, et d'une capacité calorifique suffisante pour supporter 1 A pendant 30 s.

Il convient de relier soigneusement à la terre un des pôles de l'enroulement à basse tension du transformateur, ainsi que les cuves et appareils de réglage, afin d'éviter des accidents dus notamment aux charges statiques.

II. Les dispositifs d'isolement. — Nous rappellerons en quelques lignes les principes fondamentaux que l'on peut tirer de la documentation électrotechnique actuelle, et qu'il ne faut pas perdre de vue en faisant les projets d'établissement de tels appareils. Ces principes sont relatifs à l'isolement et à l'enroulement lui-même. Commençons par l'isolement :

1° Si une différence de potentiel U est appliquée entre deux plateaux métalliques parallèles à bords très

arrondis, ou évasés, de surface grande par rapport à leur distance l , séparés par un diélectrique uniforme de constante diélectrique K , le gradient de potentiel (ou contrainte) du diélectrique est constant dans toute l'épaisseur et égal à $\frac{U}{l}$, U pouvant être une tension continue, efficace, ou instantanée.

2° Si les plateaux sont séparés par des diélectriques de constantes diélectriques différentes, il en résulte des gradients différents. Le courant de charge qui les traverse successivement dans le cas de courant alternatif étant le même, c étant la capacité pour 1 cm de distance, on a

$$I = 2\pi f c \frac{dU}{dl}$$

et le gradient $\frac{dU}{dl}$, exprimé

en volts par centimètre, est inversement proportionnel à c donc à K . Il en résulte que, si les plateaux sont séparés par une certaine distance d'air ou d'huile et qu'on introduise un écran de substance beaucoup plus isolante comme la bakélite pour laquelle $K' = 4,2$, le gradient de tension supporté par l'air ou l'huile augmente.

Supposons une distance de 1 cm dans de l'huile pour laquelle $K = 2,3$; le gradient ou contrainte G étant $\frac{U}{1}$ pour la tension U , si on interpose une feuille de bakélite de 0,5 cm, on aura

$$G \times 0,5 + G' \times 0,5 = U, \\ GK = G'K',$$

d'où

$$G = \frac{U}{0,77} = 1,3 U (\text{huile}),$$

$$G' = \frac{U}{1,42} = 0,7 U (\text{bakélite}).$$

Ainsi l'isolant qui supportera le gradient le plus élevé sera précisément celui dont la rigidité est la plus faible. Il peut en résulter non pas le percement complet sur la distance entre les plateaux, puisque la

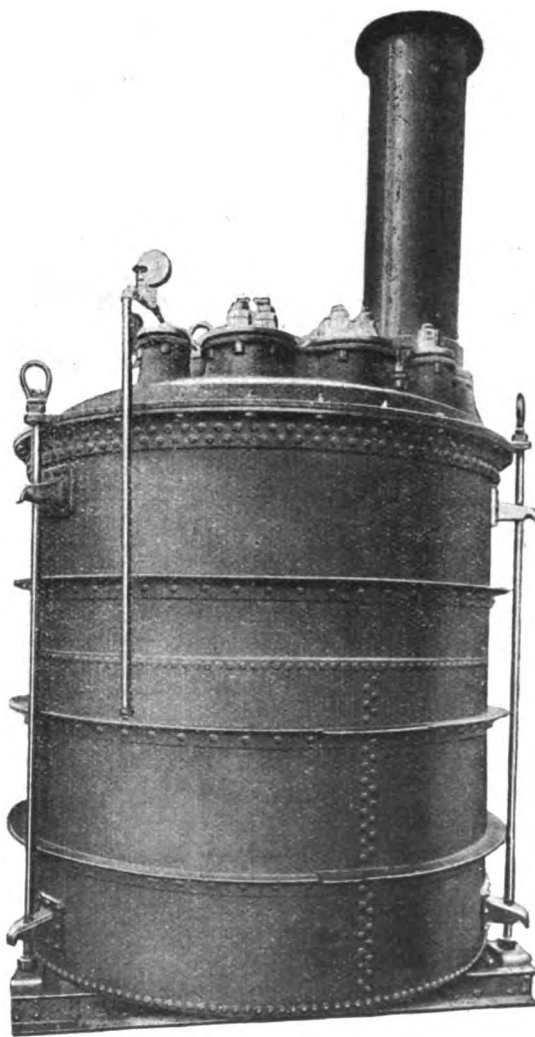


Fig. 4. — Vue du transformateur d'essais à 350 000 v des Ateliers de Constructions électriques de Lyon et du Dauphiné.

plaque de bakélite suffirait à elle seule pour tenir la tension totale, mais un *percement* de l'huile la carbonisant lentement et *piquant* les plateaux conducteurs aussi bien que la surface de la bakélite, ce qui peut conduire à de graves accidents au bout d'un certain temps.

3° Si au lieu d'appliquer la tension U entre deux surfaces planes parallèles nous l'appliquons entre un long conducteur cylindrique de rayon R_i et une enveloppe cylindrique concentrique de rayon R_e séparés par un diélectrique de constante K , le gradient aura sa valeur maximum à la surface du conducteur intérieur et sera

$$\frac{U}{\log_e \frac{R_e}{R_i}}$$

4° Avec la même disposition en cylindres, si nous avons des isolants superposés, on arrivera à

$$\frac{U}{KR \sum_{n=1}^p \frac{1}{K_n} \log_e \frac{R_n}{R_{n-1}}}$$

R étant le rayon du point considéré, où la constante diélectrique est K ; R_0, R_1, R_2, \dots sont les rayons successifs aux points de changement de constante diélectrique; K_i est la constante entre R_0 et R_1 , K_2 entre R_1 et R_2, \dots et il y a p couches successives.

Cette formule conduit à des remarques analogues à celles que nous avons faites pour les condensateurs plans en 2°.

Ces différentes formules, ainsi que d'autres voisines qu'on en peut déduire aisément, doivent être appliquées avec soin dans les transformateurs à très haute tension. On est, en effet, dans l'obligation à peu près absolue de superposer des isolants. L'huile ne suffit pas entre l'enroulement à haute tension et celui à basse tension ainsi que la masse. D'abord, sa rigidité est inférieure à celle des bons isolants que l'on fabrique actuellement, notamment de ceux où entrent des matières analogues à la bakélite, surtout si elle renferme des traces, même presque infinitésimales, d'eau. De plus, les matières plus ou moins conductrices, comme des vésicules d'eau, des traces de matières charbonnenses qui s'orientent parfois sous l'influence du champ électrostatique peuvent créer des lignes de faible résistance disruptive qu'il convient de couper par des boucliers ou écrans solides. L'épaisseur de ces écrans est facilement amenée à une valeur telle qu'ils supportent la tension totale appliquée; mais il faut, comme nous l'avons dit, que le gradient reste modéré dans l'huile. Il faut aussi que les distances le long des surfaces des écrans, en les contournant, soient suffisantes.

Voici les grandes lignes suivant lesquelles ont été faites l'étude et la construction du transformateur en question, en utilisant principalement ce qui précède.

Dans le choix de la forme, des dimensions du cir-

cuit magnétique, dans la disposition des bobinages, on s'est proposé :

1° De réaliser entre la partie du bobinage connectée à la borne isolée, d'une part, et celle connectée à la masse, d'autre part, une distribution de surfaces équipotentielle aussi facilement déterminable que possible;

2° De vérifier, tout d'abord que, avec cette distribution, l'huile ou les isolants ne travaillent en aucun point à des contraintes ou gradients exagérés;

3° De donner à ces surfaces équipotentielles une seule ligne droite comme axe de symétrie;

4° De disposer les galettes intermédiaires de façon que leur potentiel moyen propre se trouve sensiblement sur l'une des surfaces équipotentielles précitées de même tension et de vérifier qu'en tous cas ces galettes n'amènent jamais une perturbation défavorable ou dangereuse dans la distribution des potentiels;

5° De vérifier qu'entre chaque galette l'huile ou les isolants ne travaillent en aucun point à des contraintes exagérées.

6° D'éviter les densités électriques élevées sur les angles vifs et les aspérités en disposant aux endroits voulus des écrans métalliques.

L'isolement de la haute tension avec la masse ou la basse tension est ainsi constitué par des tubes ou des écrans isolants parfaitement centrés et séparés par de larges canaux d'huile. Une circulation très libre de celle-ci est assurée par des ouvertures en chicane pratiquées dans les tubes et les écrans.

L'isolement entre galettes est également constitué par des écrans avec canaux d'huile, dont les contraintes se calculent comme celles de condensateurs plans.

Le circuit magnétique est du type qui a été appelé *semi-encuirassé*, c'est-à-dire qu'un seul noyau central reçoit les enroulements; des culasses supérieure et inférieure ferment le circuit sur deux demi-noyaux verticaux.

III. Les enroulements. — Les enroulements sont concentriques, le circuit à basse tension placé naturellement à l'intérieur. Les bobines sont circulaires, ce qui rend leur résistance aux surintensités très considérable.

Des précautions spéciales sont à prendre en ce qui concerne les répartitions anormales de la tension d'autant plus à craindre dans les transformateurs que celle-ci est plus élevée.

Les oscillations de haute fréquence qui se produisent, avec des appareils destinés à des essais, dans des conditions plus sévères quelquefois que sur des réseaux industriels, amènent des surtensions entre spires, couches, bobines, qui peuvent se propager d'un bout à l'autre de l'appareil sans être extrêmement concentrées, amenant ainsi la nécessité d'un isolement moyen plus considérable que ce que fait apparaître la tension totale normalement appliquée à l'ensemble de l'appareil.

Avec des fréquences très élevées, ou dans le cas de

et on a vérifié que les gradients de potentiel se tiennent dans de raisonnables limites.

A son extrémité supérieure, la borne est coiffée d'un large et épais écran métallique, aux bords arrondis dont le but est de répartir uniformément le potentiel dans le sens longitudinal de la borne. Les armatures des condensateurs sont arrêtées à la surface horizontale dont le potentiel doit être égal au potentiel qu'elles déterminent radialement.

Ces condensateurs, dans la partie de la borne qui se trouve dans l'air, sont renfermés dans un tube isolant extérieur. Les tubes isolants ou métalliques sont percés d'ouvertures en plusieurs endroits afin d'assurer une libre circulation de l'huile dans toute la borne et entre celle-ci et la cuve du transformateur. Le niveau de l'huile est marqué par un indicateur fixé sur le chapeau métallique supérieur. La borne sert en même temps de conservateur d'huile pour le transformateur. Comme la cuve de celui-ci, elle a une résistance mécanique suffisante pour supporter qu'on y fasse le vide.

La hauteur minimum de la borne est fixée par la nécessité de ne pas donner lieu à un amorçage d'arcs par cheminement soit à l'extérieur dans l'air, soit à l'intérieur dans l'huile.

En pratique, cette borne a donné entière satisfaction et à la tension de 350 000 v; son fonctionnement est absolument silencieux et sans effluve.

L'extrémité du bobinage destinée à être mise à la terre est sortie dans une borne de porcelaine fixée d'une façon étanche sur le couvercle; la connexion à la terre se fait à l'extérieur du transformateur.

V. Les bornes à basse tension et la cuve. — Les huit extrémités des bobinages basse tension, soigneusement éloignées de la haute tension à l'intérieur de la cuve, sortent également dans des bornes de porcelaine fixées d'une façon étanche sur le couvercle et les connexions de couplage se font directement à l'extérieur.

Des résistances de chauffage pour étuvage sont disposées à la partie inférieure de la cuve et ont aussi leurs extrémités passant dans des bornes étanches.

La cuve est cylindrique et en tôle épaisse, armée par des ceintures extérieures. Elle est fixée sur un socle métallique muni de galets de roulement. Le

couvercle de fonte supporte la partie active du transformateur et est boulonné sur la cuve avec interposition d'un joint étanche.

Le transformateur en ordre de marche a une hauteur totale, y compris la borne, de 4,65 m et un diamètre de 2,39 m. Sa masse totale est de 15 t, huile comprise. La borne a un diamètre extérieur de 46,8 cm, une hauteur dans l'air de 1,88 m au-dessus du collier de fixation à la cuve; sa hauteur totale est 2,81 m.

Le séchage et le remplissage du transformateur doivent être l'objet de soins particuliers. L'étuvage s'effectue dans la cuve de l'appareil dans le vide, avec chauffage par les résistances spéciales. Quand cet étuvage à sec est jugé suffisant, l'huile portée préalablement à 110° environ est admise et l'étuvage poursuivi à nouveau sous le vide et à chaud.

VI. Conclusions. — Les essais de ce premier appareil, effectués il y a déjà plusieurs mois, ont donné la plus entière satisfaction. Aucun mécompte n'est venu montrer que les calculs et dessins minutieusement étudiés se soient trouvés en défaut en aucun point. Cette vérification expérimentale amène même à cette conclusion que la tension de 450 000 à 500 000 v peut être atteinte avec le même modèle quelque peu renforcé; de cette manière, deux appareils en série conduiraient aux environs du million de volts, avec centre à la terre toutefois.

Ces vérifications ont encore un autre intérêt. Quoique le problème de la construction de transformateurs de grande puissance à 700 000 v environ destinés à être couplés en étoile sous 120 000 v, tels que ceux qui sont actuellement envisagés en France ne soit pas le même exactement que celui que nous venons de décrire, il y a cependant de nombreux points de ressemblance. On peut même dire que ces transformateurs pour grands réseaux sont, en tant que difficultés d'études, plus aisés à bien concevoir, et en tant que difficultés d'exécution, plus simples à bien construire, puisque l'on a plus de place et qu'on a à enrouler des conducteurs moins nombreux et plus gros.

R. MASSOT,

Ingenieur des Ateliers de Constructions électriques de Lyon et du Dauphiné.

P. BUNET,

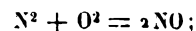
Ingenieur-conseil.

Revue, analyses et informations

L'arc électrique dans l'industrie chimique. L'acide nitrique et les nitrates ⁽¹⁾.

La combinaison de l'azote et de l'oxygène par l'électricité a été indiquée en 1859, mais la fabrication par ce procédé n'est réellement entrée dans la pratique que depuis les travaux de Birkeland et Eyde, en 1903; depuis cette époque de

nombreuses installations ont été faites partout où le courant électrique peut être obtenu à bon marché. La formation de l'oxyde azotique par l'union de l'azote et de l'oxygène de l'air, lorsque ce dernier est soumis à une haute température, peut être représentée par la relation



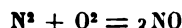
cette réaction est endothermique et absorbe 43 200 calories. Suivant lord Rayleigh et sir W. Crookes, l'arc électrique agit

⁽¹⁾ A. CLARKE, *B. E. A. M. A.*, mars 1912, t. x, p. 224-231, 4 500 mots, 5 fig.

comme source de chaleur fournissant ainsi l'énergie nécessaire à la réaction. L'obstacle principal qui s'oppose à la production de l'acide nitrique consiste essentiellement en ce que la réaction est réversible; un mélange en équilibre est obtenu pour chaque température si l'air contient une proportion relativement petite d'oxyde azotique; le tableau de Nernst fournit à ce sujet des renseignements précis et les données ci-dessous en sont tirées :

| Température en degrés C. | Pour 100 oxyde nitrique. |
|--------------------------|--------------------------|
| 1 604 | 0,42 |
| 1 922 | 0,97 |
| 2 000 | 1,2 |
| 2 307 | 2,05 |
| 2 402 | 2,23 |
| 2 500 | 2,6 |
| 2 927 | 5 |
| 3 000 | 5,3 |

Dans un autre travail, Nernst et Jellincke ont déterminé les temps nécessaires à l'établissement de l'équilibre de la réaction



à différentes températures; le tableau ci-dessous indique ces temps :

| Température absolue. | Temps nécessaire pour la formation de l'oxyde azotique de concentration $\frac{1}{2}$. |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 000 | 81,62 ans |
| 1 500 | 1,26 jour |
| 1 900 | 2,08 minutes. |
| 2 400 | 5,06 secondes |
| 2 500 | 1,06 10^{-2} seconde |
| 2 900 | 3,45 10^{-2} seconde. |

Ainsi avec de l'air contenant approximativement 5,3 pour 100 d'oxyde azotique à 3000° et refroidi brusquement à 1000° une grande quantité d'oxyde azotique peut être récupérée sans décomposition, car, à 1000°, cette dernière est tellement lente qu'elle peut être considérée comme négligeable. La stabilité de l'oxyde azotique augmente avec la température, entre 3000 et 10000°, par exemple; il est également stable au dessous de 1000°, mais entre 1000 et 3000°, il est instable et il doit être refroidi rapidement; le problème technique consiste donc à réaliser une température plus grande que 3000° et à refroidir rapidement les gaz. Ces conditions ont été réalisées dans les trois systèmes de fours suivants : le type Birkeland-Eyde, le type Schönherr et le type Pauling. Le premier type est représenté par la figure 1, il peut absorber une puissance de 1500 ch; deux électrodes tubulaires en cuivre rouge, refroidies par circulation d'eau sont placées entre les pôles d'un électro-aimant puissant; le tout est enfermé dans une enveloppe en matière réfractaire laissant des ouvertures convenablement disposées pour permettre le passage de l'air. Les électrodes sont alimentées sous 5000 v par un courant alternatif de fréquence usuelle; sous l'action de l'aimant, l'arc prend la forme d'un disque de 180 à 200 cm de diamètre, l'intensité de l'arc est réglée par une résistance inductive montée en série; en réalité l'arc alternatif est déformé par l'action de l'électro-aimant dans un sens qui dépend de celui du courant; le son émis par l'arc permet d'apprécier le nombre des interruptions qui se produisent en une seconde. L'air est introduit par un ventilateur et pénètre jusqu'à l'arc suivant les directions indiquées par les flèches, il passe ensuite dans les chambres de refroidissement; les

électrodes peuvent durer 500 heures environ et la construction réfractaire peut durer six mois; la température de l'arc atteint 3000 à 3500° et les gaz s'échappent à une température

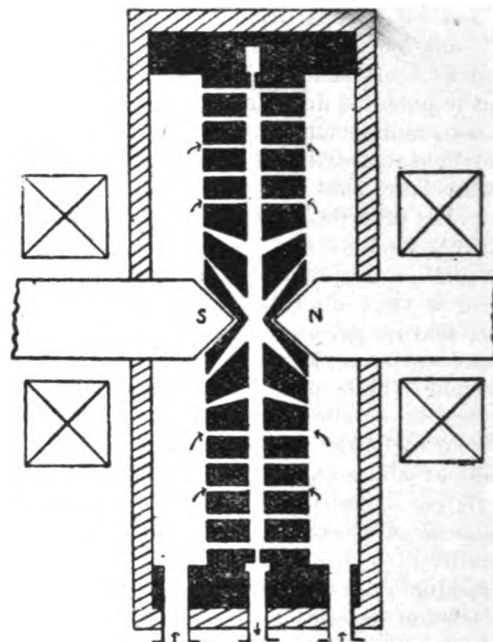


Fig. 1. — Diagramme simple montrant l'accès de l'air à la flamme dans le four Birkeland-Eyde, les électrodes ne sont pas vues.

de 800 à 1000°; les parois réfractaires ne doivent pas dépasser 800°; le volume d'air passant dans l'appareil atteint 26000 litres par minute. Haber et König ont indiqué, en 1910, que ce type de four donnait 70 g d'acide nitrique par kilowatt-ampère, l'oxyde azotique existant dans le mélange étant

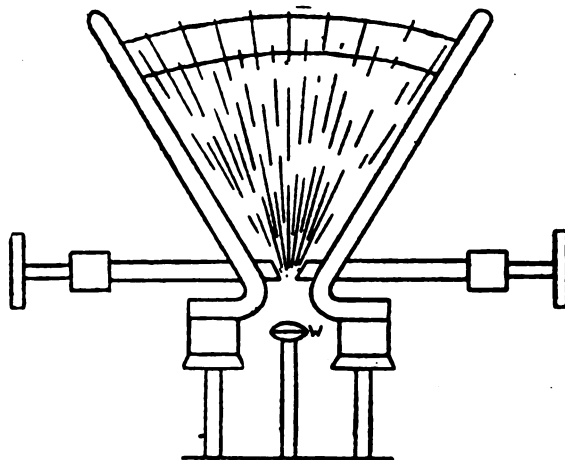


Fig. 2. — Schéma du four Pauling.

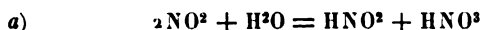
de 2 pour 100. Un cheval-an peut produire approximativement une demi-tonne de nitrate de calcium.

Le second type autour duquel une forte réclame a été faite ne donne pas, suivant l'auteur, des résultats supérieurs au type Birkeland. Le four du type Pauling absorbe 400 kw sous 4000 v et traite 600 m³ d'air par heure, la figure 2 montre

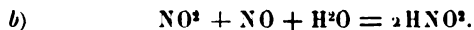
sa disposition ; les électrodes creuses et refroidies par circulation d'eau sont en forme de V, elles possèdent des électrodes auxiliaires entre lesquelles l'arc éclate et est ensuite soufflé vers les cornes à l'extrémité desquelles il se rompt après avoir atteint une longueur de 1 m environ.

Les gaz s'échappant du four sont à une température de 800° environ et contiennent 1,5 pour 100 d'oxyde azotique. Ce pourcentage n'est cependant pas l'élément essentiel du rendement, l'utilisation de la chaleur contenue dans les gaz est un facteur également important et qui a été particulièrement étudié dans ce type d'appareil dont les résultats d'exploitation sont très satisfaisants, il est en fonctionnement en France à l'usine de La Roche-de-Dame de la Société nitrogène qui utilise environ 18000 ch.

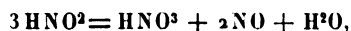
LA FABRICATION DE L'ACIDE NITRIQUE, DES NITRATES, ETC. —
Dans le cas où l'on veut utiliser la chaleur des gaz, on les fait passer dans les tubes d'une chaudière timbrée à 8 ou 9 kg ; la température des gaz est ainsi réduite à 150 ou 300° cm² ils passent ensuite dans un réfrigérant qui les amène à 50° environ et de là se rendent dans les chambres d'oxydation où ils sont transformés en peroxyde d'azote N²O² suivant la réaction $2NO + O^2 = 2NO^2$. Ces chambres consistent en tubes de fer garnis de matière résistant aux acides et les gaz y séjournent un temps suffisant pour que la réaction puisse s'y achever, l'oxygène nécessaire est fourni par un excès d'air ; les gaz quittant les chambres contiennent 98 pour 100 d'un mélange de 25 pour 100 d'oxyde nitrique et de 75 pour 100 de peroxyde d'azote. Les gaz passent ensuite dans les tours d'absorption ; ces tours ont environ 20 m de hauteur, sont construites en granit et contiennent du quartz concassé ; les dernières sont en bois et également remplies de quartz. Dans les premières, les gaz rencontrent de l'eau circulant à contre courant, il s'y forme les acides nitriques et nitreux conformément aux équations :



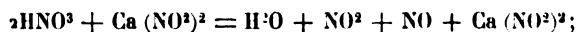
et



La liqueur est passée plusieurs fois dans chacune des tours de manière à obtenir un enrichissement méthodique ; le rendement atteint 97 à 98 pour 100 ; la concentration de l'acide azotique augmentant, l'acide nitreux qui peut exister dans la solution devient instable conformément à l'équation :



de sorte que la première tour livre de l'acide nitrique à peu près pur. Les tours en bois sont parcourues par un courant d'une solution alcaline qui était autrefois un lait de chaux ; après son passage, la solution était traitée par l'acide nitrique et le nitrate de chaux était ensuite concentré, la réaction s'effectue suivant la formule



on utilise maintenant des blocs de chaux vive qui sont soumis à l'action des gaz, il se forme du nitrite de calcium qui s'oxyde et se transforme en nitrate sous l'action de l'air et de l'oxyde d'azote. Il est encore possible d'obtenir de l'acide nitrique des nitrates de calcium, de sodium, d'ammonium le tout utilisable comme engrais ; la fin de l'article est relative à la fabrication de différents produits chimiques dérivant de l'acide nitrique.

E. B.

Essais sous 280 000 v sur la « Big Creek Transmission Line » (1).

La ligne de Big Creek doit être exploitée sous 220 000 v, elle fonctionne actuellement sous 150 000 v sur une longueur de 240 miles ; les essais ont été entrepris dans le but de rechercher si les supports et les isolateurs pouvaient supporter cette augmentation de tension. Le résultat des recherches poursuivies au laboratoire a été, en premier lieu, l'établissement d'un type de chaînon d'isolateur couvert d'un anneau métallique ayant pour but d'obtenir une meilleure répartition du potentiel et de montrer ensuite que le nombre de chaînons devrait être porté de neuf à onze. Les

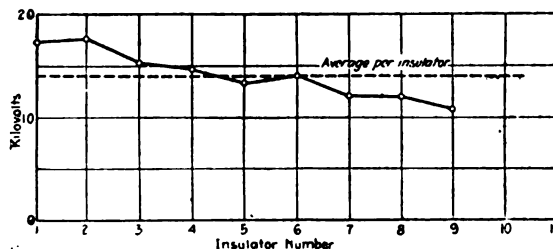


Fig. 1. — Distribution de la tension le long d'une chaîne d'isolateurs munis d'anneaux de garde métalliques. Insulator number, nombre d'isolateurs ; Average per insulator, moyenne par isolateur ; 127 kv to earth, 127 kv par rapport à la terre.

essais de 275 000 v ont été exécutés sur des tronçons de ligne ayant progressivement 8, 11, et 31 km. La forme des anneaux métalliques et leurs dimensions ont été déterminées soigneusement pour assurer la distribution régulière du potentiel ; le résultat obtenu est montré par la figure 1 et

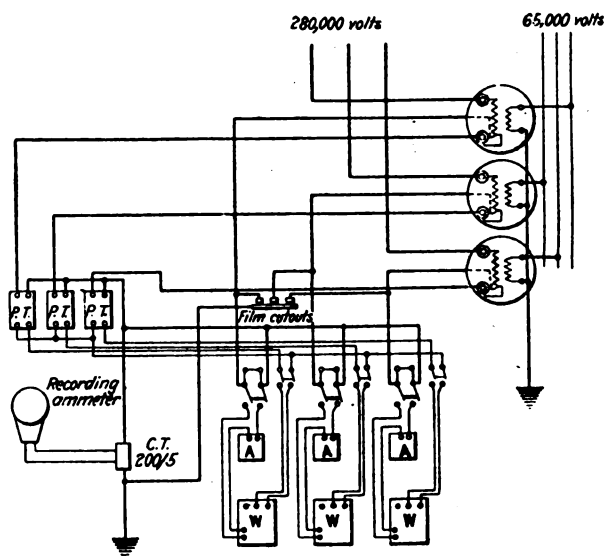


Fig. 2. — Connexions utilisées pour les essais. Recording ammeter, ampèremètre enregistreur ; C.T., transformateur de courant.

paraît satisfaisant. Les conducteurs sont des câbles en aluminium à âme en acier, leur diamètre est de 25 mm environ :

(1) J.-C. Wood. *Electrical World*, 11 février 1912, t. LXXIX, p. 277-280, 1500 mots, 10 fig., 2 tab.

ils sont disposés à 5,80 m l'un de l'autre et disposés sur un même plan; leur hauteur au-dessus du sol est de 11 m environ et la portée moyenne atteint 282 m. La figure 2 montre le schéma des connexions pour l'essai sous 280 000 v sur la ligne de 43 km, la perte à cette tension a varié entre 300 et 880 kw, elle était plus grande par temps de brouillard que par la pluie, la perte par corona mesurée est d'accord avec celle calculée par la formule de Peek. Sous 241 000 v, la perte par corona ne dépassait pas 2 kw par kilomètre; sous 280 000 v la ligne produit un bruit notable qui disparaît sous 240 000 v; mais à 220 000 v le fonctionnement diffère en rien de celui sous 150 000 v.

E. B.

Locomotives monophasées B B C à marchandises pour les Chemins de fer des Etats prussien et bavarois ⁽¹⁾.

Les locomotives de l'Etat prussien sont destinées à la remorque des trains de marchandises sur les lignes de montagne de Silésie. Elles sont du type C. C. et constituées par deux demi-locomotives réunies par des accouplements courts et contenant chacune un compartiment pour marchandises et bagages. Les transformateurs et l'appareillage sont placés dans des compartiments disposés sur le front des locomotives devant les postes de mécanicien. Les moteurs sont placés sous les caisses. Le châssis est extérieur aux roues. Le moteur de chaque demi-locomotive est du type jumelé, c'est-à-dire constitué par deux moteurs simples dont les stators sont venus de fonte en une seule pièce. Le moteur est placé entre les deuxième et troisième essieux de la demi-locomotive, ses deux rotors attaquent, par engrenages à simple réduction placés de chaque côté de la machine, un faux essieu qui transmet le mouvement aux roues motrices par l'intermédiaire de bielles horizontales; l'essieu médian de chaque demi-locomotive est pourvu de jeu latéral, les autres essieux sont montés sans jeu dans le châssis. Les caractéristiques de cette machine sont les suivantes :

LOCOMOTIVE C-C DE L'ÉTAT PRUSSIEN.

Généralités :

| | |
|------------------------------------|------------|
| Tension à la ligne de contact..... | 15 000 v |
| Fréquence..... | 16 2/3 p.s |
| Ecartement de la voie..... | 1 435 mm |
| Rampe maximum..... | 10 0/00 |

Puissance :

| | |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|
| Effort de traction à la jante de la roue continu-maximum, kg..... | 10 500—16 500 |
| Vitesses correspondantes, en km : h..... | 30—60 |
| Puissance à la jante de la roue, ch..... | 1 160 |
| Puissance à l'arbre des moteurs, ch..... | 1 240 |

Partie mécanique :

| | |
|------------------------------------------------|-----------------------------|
| Longueur entre tampons, mm..... | 15 934 |
| Empattement de chaque demi-locomotive, mm..... | 4 300 |
| Diamètre des roues motrices, mm..... | 1 250 |
| Poids maximum par essieu, kg..... | 16 000 |
| Freins..... | frein à main et frein Knorr |

Équipement électrique :

| | |
|------------------------------------------------------------------------|---------|
| Nombre de moteurs..... | 2 X 3 |
| Puissance continue et horaire à l'arbre de chaque demi-moteur, ch..... | 310—350 |

| | |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Vitesses, en tours : mn..... | 613—615 |
| Tensions aux bornes, volts..... | 666 |
| Rapport d'engrenages..... | 1 : 4,83 |
| Couplage..... | stators et induits de moteur jumelé couplés en série |
| Nombre de transformateurs..... | 1 |
| Puissance continue par transformateur, kv-a..... | 640 |
| Rapport des tensions..... | 14 000, 150—810 |
| Nombre de crans..... | 14 |

Poids :

| | | |
|-----------------------|----|--------|
| Partie mécanique..... | kg | 54 000 |
| Moteurs..... | kg | 20 600 |
| Transformateurs..... | kg | 11 700 |
| Divers..... | kg | 9 700 |
| Total..... | kg | 96 008 |

La locomotive des Chemins de fer de l'Etat bavarois est du type B-B, c'est-à-dire à deux boggies moteurs à demi-essieux. La caisse est à cabine centrale avec un capot à chaque extrémité. Sur chaque boggie est placé un moteur qui attaque un faux essieu par un train d'engrenages simple disposé de chaque côté du moteur. Le faux essieu transmet le mouvement aux roues par des bielles d'accouplement pourvues de coulisseaux. Les efforts de traction et les chocs sont transmis d'un boggie à l'autre par l'intermédiaire des pivots et du châssis de la locomotive. Le transformateur et le reste de l'appareillage sont situés au centre de la caisse. Les caractéristiques principales de cette locomotive sont les suivantes :

LOCOMOTIVE B-B DE L'ÉTAT BAVAROIS.

Généralités :

| | |
|-------------------------------------------|--------|
| Tension à la ligne de contact, volts..... | 15 000 |
| Fréquence, p.s..... | 16 2/3 |
| Ecartement de la voie, mm..... | 1 435 |
| Rampe maximum, en %..... | 40 |

Puissance

| | |
|------------------------------------------------------------------|-------------|
| Effort de traction à la jante des roues continu-maximum, kg..... | 6 000—8 000 |
| Vitesses correspondantes, en km : h..... | 30—50 |
| Puissance à la jante des roues, ch..... | 665 |
| Puissance à l'arbre des moteurs, ch..... | 700 |

Partie mécanique :

| | |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Longueur entre tampons, mm..... | 13 450 |
| Distance entre pivots des bogies, mm..... | 9 200 |
| Empattement des essieux des bogies, mm..... | 2 740 |
| Diamètre des roues motrices, mm..... | 1 250 |
| Poids maximum par essieu, kg..... | 16 000 |
| Freins..... | frein à main et frein double Westinghouse |

Équipement électrique :

| | |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Nombre de moteurs..... | 2 |
| Puissance continue et horaire à l'arbre de chaque moteur..... | 350—450 |
| Vitesses correspondantes, en t : mn..... | 450—450 |
| Tension aux bornes correspondantes, volts..... | 330—365 |
| Rapport d'engrenages..... | 1 : 3,5 |
| Couplage..... | 3 moteurs couplés en série |
| Nombre de transformateurs..... | 1 |
| Puissance continue du transformateur, kv-a..... | 760 |
| Rapport des tensions..... | 16 000, 124—803 |
| Nombre de crans..... | 14 |

(1) Revue B B C, juin 1921, t. VIII, p. 147-148, 1 000 mots, 2 fig. 1 tab.

Poids :

| | | |
|-----------------------|----|--------|
| Partie mécanique..... | kg | 34 750 |
| Moteurs..... | kg | 13 300 |
| Transformateur..... | kg | 5 510 |
| Divers..... | kg | 7 410 |
| Total..... | kg | 61 000 |

En principe les équipements des deux types de locomotives sont semblables. Les moteurs, à ventilation artificielle, sont du type série compensé avec pôles de commutation et résistances intercalées entre l'induit et le collecteur. Les transformateurs sont du type autotransformateur à air et ventilation artificielle, ils sont munis de 14 prises de courant pour le réglage de la vitesse au moyen d'un graduateur de tension. Ces derniers appareils sont commandés à la main depuis chaque poste de mécanique. Les services auxiliaires, y compris l'éclairage sont alimentés par un circuit monophasé 16 2/3 p. s.; l'éclairage se fait au moyen d'une prise auxiliaire sur le transformateur principal à la tension de 20 v. Les deux types de locomotives ne sont pas prévus pour la commande multiple.

H. C.

Nouveau dispositif de protection d'un réseau à haute tension en cas de communication avec la terre de l'un des conducteurs ⁽¹⁾.

Le premier dispositif employé contre ce genre d'accident a été celui de Petersen qui consiste en une bobine de self-induction disposée entre le point neutre du transformateur principal du réseau (par exemple triphasé) et la terre. Si le fonctionnement est normal, les capacités des trois conducteurs étant égales, aucun courant ne circule dans la bobine; mais si un des conducteurs vient à communiquer avec le sol, cette même bobine est parcourue par un courant qui, se fermant par la terre et le conducteur défectueux, se superpose aux deux courants de capacité des phases saines. Si la condition de résonance est remplie, le courant résultant prend une faible valeur résiduelle qui subsiste à cause des résistances ohmiques.

Mais la bobine de Petersen suppose l'emploi d'un montage en étoile alors que, dans beaucoup de cas, le montage en triangle est préférable. D'autre part, la liaison de la bobine au point neutre du transformateur exige sa mise en place au voisinage de ce dernier, tandis que sa liaison aux barres principales ou aux conducteurs donne une plus grande indépendance dans le choix de l'emplacement.

Dans le présent article l'auteur décrit quelques types nouveaux de bobines qui satisfont à ces conditions.

Il traite la question au point de vue théorique, et considère une bobine d'induction triphasée, à faible résistance ohmique, dont chaque branche est insérée entre l'un des conducteurs d'un réseau triphasé et la terre. Il calcule alors les courants qui circulent dans chacune de ces trois branches, en cas de mise à la terre de l'un des conducteurs, par la considération des flux auxquels ces courants donnent naissance; flux qui circulent en partie dans le fer des bobines, en partie autour de celles-ci à travers l'air. Ces trois courants sont sensiblement égaux et en phase, si l'on tient compte de ce que la réluctance du fer est très petite par rapport à celle de l'air.

Le courant total, destiné à compenser le courant de capacité qui prend alors naissance, est égal à la somme des trois

courants précédents; sa valeur est en notation imaginaire

$$i = -\frac{3E_p}{K K_2} j, \text{ valeur efficace } I = \frac{3E_p}{K K_2},$$

E_p étant la tension efficace dans une phase et K_1 et K_2 étant déterminés par

$$K = 2\pi v \Phi 10^{-8}, \quad K_2 = \frac{4\pi N}{\frac{10}{R_L}},$$

où R_L représente la réluctance du circuit magnétique dans l'air autour des branches de la bobine.

Ce courant est ainsi en avance de 90° sur la tension de phase E_p , tandis que le courant de capacité $C = j 3 \omega C' E_p$ est en retard de 90° sur cette même tension.

Ainsi le courant total fourni par la bobine est opposé au courant de capacité, et le courant résultant sera nul, abstraction faite des résistances ohmiques, pour

$$\frac{3E_p}{K K_2} = 3 \omega C' E_p.$$

Mais un tel dispositif n'est pas complètement satisfaisant, car le courant et les pertes à vide ont alors des valeurs trop grandes.

On voit facilement, en effet, que ce courant à vide I_0 est exprimé par

$$I_0 = \frac{E_p}{K K_1} \left(K_1 = \frac{4\pi N}{R_E} \right),$$

R_E étant la réluctance du circuit magnétique dans le fer des branches de la bobine.

On en déduit

$$\frac{I}{I_0} = \frac{3 K_1}{K_2} = \frac{3 R_L}{R_E} = A.$$

Cette quantité A peut être nommée le facteur de multiplication de la bobine. Plus ce facteur sera grand, plus, pour une même valeur de I , I_0 sera petit. Ce résultat peut être obtenu au moyen de dispositifs particuliers.

Supposons, par exemple, que l'on adjoigne à la bobine trois contre-enroulements disposés comme l'indique la

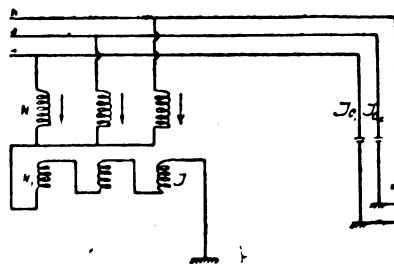


Fig. 1.

fig. 1; ils sont parcourus par le courant total de compensation. L'auteur montre que la valeur efficace de celui-ci devient, dans ce cas,

$$I = \frac{3E_p}{K K_2 (1 - 3a)^2},$$

⁽¹⁾ Max REITHOFFER. *Elektrotechnik und Maschinenbau*, 22 mai 1921, t. XXXIX, p. 215-219, 5000 mots, 9 fig.

(avec $a = \frac{N_1}{N}$, rapport du nombre des spires des contre-enroulements de la bobine à celui des enroulements principaux), tandis que le courant I_0 reste le même.

On a donc, dans ce cas,

$$A = \frac{I}{I_0} = \frac{3K_1}{(1-3a)^2 K_2},$$

de sorte que, pour une valeur de I égale à la précédente, I_0 a une valeur plus faible.

Pour la valeur particulière

$$a = \frac{1}{3} \left(N_1 = \frac{N}{3} \right),$$

le courant I devrait croître au delà de toute limite. Cela n'arrive pas en réalité; d'abord à cause des résistances ohmiques, mais surtout à cause des résistances de dispersion qui entrent alors en jeu. On peut, d'ailleurs, faire les calculs en tenant compte de ces résistances.

On peut encore adopter, pour ces contre-enroulements, un

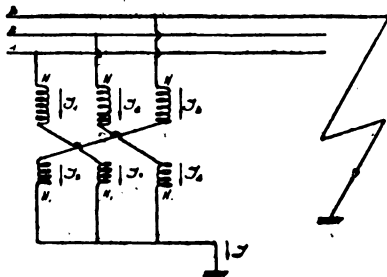


Fig. 2.

montage en zigzag (fig. 2). Ils ne sont plus alors parcourus par le courant total I , mais par les courants particuliers qui circulent dans chaque bobine et qui lui donnent naissance.

$$I = \frac{3E_p}{K K_2 (1-b)^2} \text{ avec } N_1 = bN, \quad b < 1,$$

tandis que le courant à vide devient

$$I_0 = \frac{E_p}{K K_1 (1+b+b^2)}.$$

Le facteur A a alors pour expression

$$A = \frac{I}{I_0} = \frac{3K_1(1+b+b^2)}{K_2(1-b)^2}.$$

Le montage en zigzag est ainsi plus favorable; on a, à la vérité, pour un même courant I dans les deux montages, $b = 3a$; mais dans le premier cas, le courant qui parcourt les contre-enroulements est trois fois plus fort; il nécessite donc, pour les fils, une section trois fois plus grande et les dimensions d'encombrement sont ainsi les mêmes dans les deux montages. De plus, si l'on admet toujours l'égalité du courant I dans les deux dispositifs, le facteur A devient $(1+b+b^2)$ fois plus grand, c'est-à-dire que I_0 diminue d'autant.

Enfin, pour une même valeur des courants I et I_0 , on a

$$\frac{3K_1(1+b+b^2)}{K_2(1-b)^2} = \frac{3K_1}{K_2(1-3a)^2}.$$

Si donc K_1 et K_2 sont restés les mêmes, on doit avoir $b < 3a$ et, par suite, économie de cuivre et réduction des dimensions d'enroulement.

Ni l'un ni l'autre de ces dispositifs n'exige l'emploi du montage en étoile.

Ces nouvelles formes de bobines sont fabriquées par la Société pour l'industrie électrique (Wien-Weiz) qui les a fait breveter.

L'amplification des faibles courants alternatifs (1).

L'auteur discute en détail l'application du tube à vide à l'amplification des faibles courants alternatifs. Il conclut de son étude que : 1° la puissance fournie à l'anode est maximum quand la résistance de l'appareil de charge est égale à la résistance intérieure du tube. Pratiquement, il suffit qu'elles soient du même ordre de grandeur. Des variations autour de la condition optimum dans le rapport de 1 à 4 ou de 4 à 1 ne produisent qu'un très faible affaiblissement; 2° si la résistance de l'appareil n'est pas suffisamment élevée, on peut l'accroître, soit au moyen d'un transformateur intermédiaire, soit à l'aide d'un appareil inductif en mettant en parallèle un condensateur accordé à la résonance, ou, enfin au moyen des deux procédés; 3° la puissance fournie à la grille dépend de la grandeur de la « résistance effective de grille ». Avec un potentiel suffisamment négatif, celle-ci n'est limitée que par la capacité ou l'isolement; 4° plus la résistance effective de grille est élevée, plus l'influence des perturbations dues, d'une part, aux potentiels parasites et, d'autre part, aux courants amplifiés eux-mêmes, est grande. Ces derniers causent de la self-excitation et des sifflements; 5° le transformateur d'entrée doit proportionner la résistance intérieure de la source de courant à amplifier par rapport à la résistance de grille. Le nombre de ses spires secondaires est limité par la capacité de la bobine qui agit comme un condensateur en parallèle avec la grille, réduisant ainsi la résistance effective de grille. On a intérêt à travailler en résonance; 6° la capacité entre la grille et l'anode se trouvant en partie dans le tube ou en partie dans les conducteurs de liaison, représente un couplage par rétroaction qui ne peut pas être négligé. D'après la grandeur et la phase des impédances qui se trouvent dans le circuit de plaque, elle peut, d'une part, agir comme une capacité de grille considérable qui diminue l'impédance de grille, ou bien, d'autre part, comme une fuite négative qui diminue l'amortissement et finalement cause une self-excitation. Cette self-excitation ne peut pas se produire, par exemple quand l'impédance du circuit d'anode est accordée à une fréquence inférieure à l'impédance effective de grille; 7° une impédance effective de grille de 1 mégohm donne un rapport d'amplification de 10 avec des tubes à simple grille et d'environ 32 avec des tubes à double grille. Pour les fréquences basses et audibles, la résistance de grille peut s'élever à environ 10 mégohms; ceci correspond à un rapport d'amplification de 3,2; 8° au moyen d'un couplage réglable par rétroaction et d'une résonance aiguë la résistance effective de grille et, par suite, l'amplification peuvent être augmentées considérablement; 9° pour les fréquences basses et audibles et, avec les ondes longues, on obtient l'amplification désirée simplement en connectant des amplificateurs normaux l'un derrière l'autre. Ceci permet la construction facile d'appareils; 10° une limite à l'amplification est apportée par les perturbations amplifiées qui finalement rendent inutiles de plus fortes amplifications. D'ailleurs avec les très grands rapports d'amplifications — plus de 1000 — il devient très difficile de supprimer la self-excitation. — G. M.

(1) H. BARCKHAUSEN. *Radio-Review*, janvier-février-mars 1922, t. III, p. 25-30, 91-98, 121-135, 9600 mots, 16 fig.

SECTION DE LÉGISLATION

Trois termes mal compris : régie, mise en régie, régie intéressée

L'auteur ayant remarqué le grand nombre de personnes qui emploient ces termes l'un pour l'autre, comme s'ils étaient synonymes, en précise la définition et le caractère distinctif, relativement à la concession de distribution d'énergie et s'efforce de déduire de cette analyse quelques différences pratiques. Le présent article est limité à la régie directe.

Une commune *exploite en régie* un service, lorsqu'elle a décidé de s'en occuper elle-même au moyen de mandataires qui sont nommés par le maire ; le public, pour lequel ce service est créé, pourrait obtenir les mêmes avantages d'une société substituée à la commune. C'est ce qui se passe quand celle-ci délègue l'exploitation du service à des tiers qui, généralement, font tous les frais d'établissement à leurs risques et périls et se rémunèrent par les bénéfices qu'ils en retirent pendant le temps stipulé. Dans l'exploitation directe, la commune assume, dès le début, pour elle seule, tous les aléas de l'entreprise.

Au contraire, on dit qu'une commune *met en régie* des travaux quand, au cours de leur exécution, l'entrepreneur qui devait les exécuter lui-même suivant un devis déterminé, les laisse périliter par une mauvaise volonté, impuissance ou négligence. Aux risques de l'entreprise, sans toutefois la dépouiller du droit de suivre les opérations, la commune confie les travaux à un de ses mandataires qui, devenant agent comptable, fait exécuter ce qui est nécessaire, et, moyennant salaire, administre le service. Cette mesure est généralement considérée comme l'antichambre d'une autre, également très sévère, appelée la déchéance et toutes les deux sont réglementées par l'article 25 du cahier-type.

Très nettement distincte de la régie directe, plus profondément différente encore de la mise en régie avec laquelle elle n'a rien de commun, la *régie intéressée* est un régime caractérisé par l'abandon momentané, que fait la commune, de tous les ouvrages qui lui appartiennent en faveur d'une personne qui s'occupera du service, en versera les bénéfices à la commune, mais en gardera une partie pour sa rémunération ; elle est donc intéressée à ce que le service soit fructueusement exploité. L'avantage de la régie intéressée, dit M. Hauriou (p. 258), c'est qu'elle comporte un partage des bénéfices réglé par contrat (1).

(1) M. Hauriou, dans la note, fait remarquer que le type de la régie intéressée est l'exploitation du service du gaz à Paris, approuvée par décret du 20 juillet 1907 ; il observe que les communes arriveraient au même résultat en prenant des actions dans une société d'exploitation.

Remarques spéciales à la régie directe des distributions communales. — Un décret du 30 août 1917 contient le texte d'un cahier des charges-type pour « la construction et l'exploitation directe en régie d'une distribution publique d'énergie électrique par une commune ou un syndicat » (1) ; ce décret porte la mention « vu la loi du 15 juin 1906, et notamment l'article 6 de cette loi. »

Au premier aspect, une telle référence et l'emploi de pareils termes paraissent inintelligibles, car dans la partie où elle traite des concessions, la loi du 15 juin 1906, notamment dans son article 6, prévoit que la commune aura compétence, pour octroyer certaines concessions ; or, par hypothèse même, une commune qui exploite son service, ne le « concède » pas ; il existe donc une véritable opposition entre cette idée et les innovations de 1917 qui ne peut s'expliquer que par quelques notions historiques.

Ce n'est pas d'hier que certaines communes ont entrepris de pratiquer, comme personne morale, la distribution d'énergie à l'exemple des sociétés de distribution qui sont des professionnels ; le but nettement avoué était de garder pour les collectivités les « bénéfices » que font les commerçants ; il vaut mieux ne pas parler de certaines désillusions. Nous constatons que dès l'apparition de la lampe électrique, beaucoup de communes rurales, plus hardies que timorées, ont converti l'ancien moulin en une usine électrogène pour éclairer non seulement leurs voies et leurs édifices, mais même les immeubles appartenant à leurs habitants sans leur demander de police, ou avec des engagements purement annuels et toujours susceptibles d'une tacite reconduction ; dépenses et recettes ont été simplement inscrites au budget municipal.

Ce fonctionnement, un peu embryonnaire, n'a jamais été considéré comme illégal, bien que des auteurs qui traitent le sujet se croient obligés de faire des réserves ; cela provient d'une idée défavorable émise par le Conseil d'Etat (voir les avis des 10^r et 15 mars 1900)

(1) R. G. E., décembre 1917, t. II, p. 914-917. Dans le même numéro est publié un article de M. Paul Bougault commentant ce décret.

contre l'exploitation, par les municipalités, d'entreprises industrielles, pour les motifs suivants : le mauvais fonctionnement dû à une technicité insuffisante dans le personnel rejaillirait non contre ce dernier, mais contre le public tout entier ; les communes sont tentées de rechercher des *recettes* beaucoup plus qu'un *bon service*, et la grande multiplicité des comptes rend la vérification difficile pour le contrôle financier qui est obligatoire pour toute collectivité maniant les deniers du public.

Toutefois, il faut reconnaître que c'est un droit pour une commune de créer des *régies* de recettes et de dépenses ; cette dénomination est très ancienne dans le style administratif, et la création d'une « régie », simple ou intéressée, a pour objet de confier à un agent subalterne, autre que le receveur municipal, le recouvrement direct de certains produits, ou l'acquittement de certaines dépenses, à la condition que le régisseur agisse toujours sous la surveillance du comptable qui, responsable de ses opérations, les comprend dans ses comptes (voir *Manuel des Communes* de MM. de Fouchier, conseillers référendaires à la Cour des Comptes, au mot « régie »). Aussi, pendant longtemps, le seul ministère qui se soit occupé de ces questions, est celui des Finances, soit pour faire déclarer ⁽¹⁾ « comptables de fait » le gérant d'une usine à gaz dont la comptabilité n'avait pas été rattachée à celle du receveur municipal, et le maire qui, ayant eu connaissance de ces errements, les avait approuvés ; soit pour soumettre à la patente une usine génératrice d'électricité (8 mars 1895, Conseil d'Etat, commune de Sainte-Maxime).

Mais le Conseil d'Etat lui-même a été amené (voir l'avis de sections réunies de l'Intérieur et des Travaux publics du 26 février 1919) à dire que les communes, sous réserve de la législation spéciale en chaque matière, pouvaient, en principe, trouver des bénéfices dans des exploitations, soient faites par elles-mêmes, soit concédées.

Déjà on avait été contraint, soit vers 1907, dans l'examen des réseaux étudiés par les communes de Varilhès (Ariège) et Homécourt (Meurthe-et-Moselle), soit vers 1910, sur la demande de la commune de Caveirac (Gard), d'examiner comment on pourrait comprendre l'exploitation en régie. Le Ministère de l'Intérieur, consulté, fut d'avis que la commune devrait constituer son service comme elle l'entendrait, et pour les voies qui ne rentreraient pas dans la sphère de la police municipale, elle aurait à demander des permissions de voirie ; au contraire, le Ministère des Travaux publics s'éleva en arbitre suprême de toutes les questions de distribution électrique. Il déclara que les articles 22, 24, 26 du cahier-type du 17 mai 1908, ayant prévu des cas où la commune, volontairement, ou par

de simples circonstances, entrerait en possession d'un réseau préexistant, il fallait admettre que la loi du 15 juin 1906, avait implicitement admis qu'une commune exploiterait elle-même sa distribution, et qu'il y aurait lieu, pour l'autorité supérieure, de lui en donner l'autorisation sous certaines conditions ; on a appelé « charges » lesdites conditions ; tel est le motif pour lequel on peut lire à la date du 30 août 1917, un cahier des « charges » que la commune promet d'observer, et qui commence par ces mots : « la commune est *autorisée* à exploiter directement en régie la distribution publique de l'énergie pour... »

Avant de rechercher quel sera le pouvoir public qui devra « autoriser » la commune, remarquons :

a) Que ce cahier des charges appelle cette distribution une « régie » ; ce terme à lui seul vise un service nettement individualisé, qui tout en faisant partie d'un ensemble, s'en distingue, par une sorte de fiction juridique, d'après laquelle la personne morale appelée régie est amenée dans certains cas à traiter avec la personne morale ordinaire que constitue la commune ; on en trouve une preuve plus particulièrement évidente dans ce qui est dit à l'article 22 sur les droits d'octroi : tous les impôts établis ou à établir par l'Etat, le département ou la commune, y compris les impôts relatifs aux immeubles de la distribution, seront à la charge de la régie ; dans le cas où des droits d'octroi nouveaux viendraient à frapper les objets de consommation employés pour assurer le fonctionnement de la distribution, la régie *aurait le droit de réclamer à la commune le paiement d'une somme équivalente à titre de subvention*.

b) Que ce cahier comprend diverses sortes de droits ou de sujétions vis-à-vis du pouvoir autorisant ; par exemple, la régie a le droit d'être seule à distribuer l'éclairage, ce qui forcera les pouvoirs publics à s'abstenir, dans la suite, de permettre une distribution susceptible de créer une concurrence. Elle a le droit d'imposer des tarifs, mais elle ne pourra pas ensuite les violer (c'est-à-dire les abaisser) sans faire profiter de la bonification tous les consommateurs placés dans les mêmes conditions (puissance, horaire, mode d'utilisation) ; sous peine d'encourir la déchéance, elle devra présenter aux ingénieurs du Contrôle les projets du réseau ; elle devra en augmenter l'étendue quand un consommateur le réclamera aux conditions écrites à l'article 14 ; enfin, dans le cas où, indépendamment de toute force majeure, elle viendrait à interrompre son service, le ministre pourra prononcer la déchéance et le préfet prendre, avant que cette rigueur soit définitive, toutes les mesures nécessaires pour assurer le service.

Organisation de la régie. — Le décret organique d'une régie, considérée comme service d'une distribution, a suivi le décret du 30 août 1917 qui avait donné le texte du cahier type ; il n'a paru que le 8 octobre 1917, différence de date qui n'a aucune importance puisque la publication a été faite dans le même

(1) Devenir « comptable de fait », c'est être soumis à tous les décrets et règlements qui régissent les comptables de profession (y compris les sanctions), obligation de soumettre toutes écritures dans les délais légaux aux vérifications obligatoires (voir de FOUCHIER, *loc. citato* aux mots « Compte de gestion » et « Exploitations industrielles. »)

numéro du « Journal officiel », le 8 novembre 1917⁽¹⁾.

Plusieurs points importants sont à noter dans ce décret.

a) Le préfet est le pouvoir compétent pour accorder l'autorisation de constituer en régie la distribution faite par la commune ou un syndicat de communes du même département; s'il y a des communes dépendant de plusieurs départements, le ministre des Travaux publics donne l'autorisation, sur avis conforme du ministre de l'Intérieur⁽²⁾.

b) Si le cahier des charges présenté au préfet ou au ministre contient des articles non conformes au cahier-type, aucune de ces autorités ne peut statuer. Il faut un décret délibéré en Conseil d'Etat, sur le rapport commun du Ministère des Travaux publics et du Ministère de l'Intérieur.

c) S'il y a lieu de recourir à l'expropriation pour cause d'utilité publique, un décret sera certainement nécessaire, pour lequel on doit suivre les formalités de l'article 11 de la loi de 1906 : « La déclaration d'utilité publique est prononcée, après enquête, par un décret délibéré en Conseil d'Etat, sur le rapport des ministres des Travaux publics et de l'Intérieur, après avis du ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et Télégraphes, et du ministre de l'Agriculture ». Il est évident que le même décret donnera l'autorisation nécessaire pour commencer l'exploitation, que l'entreprise jouira de toutes les servitudes actives que cette déclaration fait obtenir (articles 12 et 21 combinés de la loi du 15 juin 1906), et qu'il sera procédé à leur établissement chez les tiers, après les formalités d'enquête requises par l'article 39 du décret du 3 avril 1908.

d) Le service créé sous le nom de « régie » est doué de la personnalité civile; il peut donc, par recettes et dépenses, établir un budget qui comprend deux sections : la première, relative au budget normal de l'exercice annuel, compte, parmi ses recettes, le produit brut de l'exploitation, les prélèvements faits sur un crédit qui peut être ouvert sur le budget ordinaire de la commune pour parer — s'il y a lieu — à l'insuffisance des recettes, et, parmi les dépenses, les frais d'exploitation et les charges du capital d'établissement, comprenant — s'il y a lieu — les intérêts et l'amortissement des emprunts.

La deuxième section relative au budget un peu anormal ou moins ordinaire que le premier comprend les dépenses de premier établissement, celles de tra-

vaux complémentaires et d'acquisition de matériel, et porte aux recettes les sommes versées à la régie par la commune pour faire face à ces dépenses, et le montant du fonds de roulement.

Il ne faut pas confondre le fonds de roulement, qui est avancé par le budget de la commune, avec le fonds de réserve que constitue la régie sur ses recettes annuelles et qui est visé par l'article 21 du décret du 8 octobre 1917 : « il est constitué un fonds de réserve pour grosses réparations et renouvellement du matériel. Le mode de constitution de ce fonds de réserve est réglé par l'acte autorisant l'exploitation directe. Aucun prélèvement ne peut y être opéré qu'en vertu d'une délibération du conseil d'administration approuvée, après avis du contrôle communal, par le maire qui en rend compte au conseil municipal dans la plus prochaine réunion. Ce fonds de réserve fait l'objet d'un compte hors budget dans les écritures de la régie. Le montant en est déposé dans la caisse du receveur municipal à un compte courant spécial. Les retraits ont lieu sur une demande du caissier visée par le directeur de la distribution et par le maire ».

Nous terminerons ces indications par l'énumération suivante : l'administration de la régie comprend un conseil de quatre membres et un directeur nommés par le maire avec l'agrément du préfet, fonctions incompatibles avec tout mandat de sénateur, député, conseiller général, ou d'arrondissement, conseiller municipal, conféré dans le département. Le directeur peut être salarié, les membres du conseil, qui se réunissent une fois par mois, reçoivent une indemnité pour chaque séance à laquelle ils sont présents; les décisions du conseil sont exécutoires dès que le maire a fait savoir qu'il ne s'y opposait pas et, en cas de silence, huit jours après la communication qui lui a été faite. Le caissier de la régie dépose ses fonds disponibles en compte courant à la recette municipale; il doit fournir un cautionnement; sa gestion est justiciable de la Cour des Comptes et assujettie aux vérifications de l'inspecteur général des Finances.

C'est l'Administration du Génie rural⁽¹⁾ qui prépare aujourd'hui le plus grand nombre des projets de réseau de distribution d'énergie⁽²⁾ exploités en régie directe

(1) *R. G. E.*, 24 novembre 1917, t. II, p. 839-840. Voir aussi ce texte dans la circulaire spéciale de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques, n° 218, 1917).

(2) Le décret ne prévoit pas l'avis du Comité d'Electricité et des conférences organisées comme l'avait prévu l'article 14 de la loi du 15 juin 1906 quand il y a désaccord sur les détails d'exécution d'une entreprise de distribution ou de concession; on se demande, dans ces conditions, si la procédure de l'article 14 serait applicable, au cas de non conformité dans les opinions des deux ministères, et devrait par conséquent aboutir à un décret délibéré en Conseil des ministres (voir dans le sens de la négative l'article de J. de RIGNEY, *R. G. E.*, 1^{er} décembre 1917, t. II, p. 869-880).

(1) Le Génie rural n'est en réalité que la réunion du personnel créé par le décret du 5 avril 1903 (*Journal officiel* du 11 avril 1903) sous le vocable du corps des agents des améliorations agricoles chargés notamment des études et travaux relatifs à l'utilisation agricole des eaux, au drainage et à l'assainissement agricole des terres. (Voir sur ce point *Rép. pratique de Dalloz*, V^o Eaux, n° 16).

(2) On peut consulter les documents très intéressants que voici :

1^o Une instruction du 15 juin 1920 (*Journal officiel*, même date; *R. G. E.*, 26 juin 1920, t. VII, p. 129-130 B; et circulaire n° 302, juillet 1920, de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques) envoyée par le sous-secrétaire d'Etat à l'Agriculture aux ingénieurs en chef du Génie rural sur la concession par une commune d'un réseau soit à un entrepreneur, soit à une société coopérative agricole, soit à une association syndicale.

2^o Aux mêmes références, on trouve des indications d'ordre général au sujet de la détermination du loyer à

par les communes rurales, prises isolément ou constituées en Syndicat.

Dans le rapport du Ministère de l'Agriculture pour le budget 1922 (loi du 31 décembre 1921) rapport publié par le « Journal officiel » aux documents parlementaires, annexe n° 3 143, on peut lire dans la feuille distribuée avec le « Journal officiel » du 5 mars 1922, p. 2 869, des renseignements intéressants.

Depuis le 1^{er} avril 1903, date de sa création, le Génie rural s'est montré le promoteur le plus actif de tous les travaux d'amélioration : en dehors des travaux d'irrigation et de drainage, le service du Génie rural va poursuivre son action en ce qui concerne plus spécialement les travaux suivants : remembrements et échanges d'immeubles ruraux, chemins ruraux et d'exploitation, logement des ouvriers agricoles et constructions rurales développement des petites industries dans les campagnes, comme à Neuvic en Corrèze, ce qui nécessite des réseaux importants de distribution, constructions d'immeubles coopératifs favorisées par la loi du 29 décembre 1906 organisant le crédit à long terme et la loi plus récente du 5 août 1920 sur le crédit mutuel et la coopération agricole (associations syndicales agricoles).

Quant à l'électrification des communes rurales, le rapport contient textuellement ce qui suit : « la création des réseaux ruraux de distribution d'énergie électrique en vue de répandre le plus largement possible l'emploi de l'électricité dans les campagnes, en vue de remplacer la main-d'œuvre déficitaire, requiert au plus haut point le concours actif du génie rural.

« Nombreuses sont les applications agricoles de l'énergie électrique, qu'il s'agisse de motocultures, de travaux exécutés à la ferme ;.... de plus, la lumière est aussi nécessaire au paysan que la force, et doit être considérée comme un véritable instrument de travail... Une circulaire ministérielle du 15 juin 1920 a déterminé les conditions dans lesquelles le service est appelé à intervenir en vue de seconder les communes ou les syndicats de communes, les coopératives agricoles et les associations syndicales qui désireraient établir des réseaux de cette nature. Le service du Génie rural est actuellement saisi d'un nombre considérable de demandes tendant à obtenir son concours pour l'établissement des réseaux, et des projets ont déjà été dressés ou sont à l'étude dans plusieurs départements (Oise, Marne,

verser par les concessionnaires aux communes contribuant aux frais de premier établissement du réseau.

3° Une instruction du 15 juillet 1920 du sous-secrétaire d'Etat des Forces hydrauliques aux ingénieurs en chef du contrôle des distributions d'énergie électrique (*R. G. E.*, 7 août 1920 t. VII, p. 191-192), pour leur indiquer le rôle à jouer par les deux administrations différentes.

C'est dans ce dernier document que l'on trouve le principe du calcul du loyer ; celui-ci doit assurer à la commune l'intérêt et l'amortissement des dépenses mises à sa charge.

4° Une circulaire en date du 28 juin 1921 qui accompagne l'envoi aux ingénieurs en chef du Contrôle des Distributions d'Energie des cahiers des charges nouvellement corrigés. (*R. G. E.*, 28 novembre 1921, t. X, p. 789-792 ; circulaire n° 350, janvier 1922 de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques).

Aisne, Eure-et-Loir, Loiret, Indre-et-Loire, Charente-Inférieure, Corrèze, Dordogne, Hautes-Pyrénées, Ain, Jura, Doubs, Savoie).... Le service du Génie rural, quand il est saisi de demandes de cette nature dresse d'abord un avant-projet qui doit être étudié dans une conférence ouverte entre l'ingénieur en chef du Génie rural et l'ingénieur en chef du Contrôle des Distributions d'Energie électrique, en vue d'examiner si l'affaire est viable. Ce n'est qu'au cas où l'affaire peut être prise en considération que le projet définitif est dressé ; mais si l'établissement de ce projet doit occasionner une dépense supérieure à 5 000 fr, elle doit incomber aux intéressés. Des subventions peuvent être allouées aux collectivités qui se chargent de l'exécution des travaux en vue de leur venir en aide ; mais les crédits inscrits au chapitre des subventions pour travaux hydrauliques et de génie rural sont d'ailleurs absolument insuffisants pour qu'il soit possible de donner satisfaction à toutes les demandes. Réduites au minimum, les subventions pour l'installation des réseaux de distribution d'énergie électrique absorberaient plusieurs millions et il sera indispensable de n'accorder de subventions qu'aux entreprises d'importance limitée qui ne pourraient être réalisées sans le concours financier de l'Etat ».

Enfin, on peut lire dans le « Journal officiel » du 28 mars 1922, page 3 365 un décret instituant une commission ministérielle pour étudier le programme des distributions d'Energie électrique dans les campagnes (1).

Nature juridique de la régie directe constituée en la forme du cahier-type. — S'il est vrai — et personne n'a le droit d'en douter — que la définition classique de l'établissement public se trouve dans ces mots « *service public spécial personnifié* » (voir Hauriou, page 303 et Berthélemy, page 36) il est certain que la régie de la distribution d'énergie électrique, telle qu'elle a été créée par le décret du 8 octobre 1917 et le cahier-type du 30 août 1917 est le type de « l'établissement public » : soit qu'il ait pour but unique la fourniture de l'éclairage aux voies communales ou aux bâtiments municipaux, soit qu'il donne la lumière ou la force motrice aux particuliers, il est, par essence même, un service public ; il est aussi un service spécial parce qu'à raison de son caractère technique, il mérite de former une cellule nettement isolée des rouages généraux d'une administration communale ; il est un service personnifié, puisqu'il jouit de la personnalité civile. Les articles 2 et 3 du décret du 8 octobre 1917, contiennent, en effet, ces mots : « le service de la distribution exploité directement par une commune ou un syndicat de communes est doté de la personnalité civile ; l'exploitation est confiée, pour le compte de la commune ou du syndicat de communes, à une administration spéciale ; elle est régie par un cahier des charges annexé à l'acte l'autorisant ».

(1) *R. G. E.*, 22 avril 1922, t. XI, p. 600.

Ce principe doit, à notre avis, aider la solution de ce problème délicat : quelle est la juridiction compétente pour juger les difficultés qui pourront être soulevées entre les abonnés et le service assuré par la régie directe ⁽¹⁾, car il est sage de prévoir qu'il y aura des difficultés ; les communes sont aussi intransigeantes quand leur intérêt pécuniaire est en jeu, qu'indifférentes aux pertes qu'elles imposent à leurs concessionnaires ; c'est ce que l'on peut mettre en évidence en remarquant simplement combien nombreux ont été les procès qu'il a fallu faire aux communes pour leur faire augmenter, en présence des circonstances actuelles, les tarifs des anciennes concessions ; et d'autre part, avec quelle facilité les communes exploitant elles-mêmes leur distribution ont majoré leur prix et trouvé étrange qu'on discutât leur droit ⁽²⁾. Le nouveau cahier des charges autorise implicitement la régie à passer des polices de cinq années avec un abonné (article 14) ; pendant ce temps, elle pourra abaisser ses tarifs, en

⁽¹⁾ Les amateurs de solutions rapides répondent sans hésiter : « la juridiction commerciale, puisque les chemins de fer du réseau de l'Etat qui constituent essentiellement le service public spécial personnifié y sont soumis. » C'est une affirmation, ce n'est pas un raisonnement, car la situation juridique du réseau de l'Etat fait l'objet de textes spéciaux et de décisions importantes, soit de la Cour de Cassation, soit du Tribunal des Conflits, qui lui donnent une physiologie très particulière. On peut même se demander si, après la loi du 13 juillet 1911 (Dalloz, 1911, 4, 132) qui a rendu indépendant le budget du réseau de l'Etat (articles 41 à 53), ledit réseau n'est pas de tous points assimilable à celui des compagnies concessionnaires. En tout cas, même avant cette loi, simplement en vertu de l'article 22 de la loi du 15 juillet 1845 ainsi conçu « l'Etat sera soumis à la même responsabilité que les compagnies concessionnaires envers les particuliers si le chemin de fer est exploité à ses frais et à son compte » ; en vertu aussi de la loi du 11 mai 1878 et des décrets du 25 mai 1878, il est certain qu'il a été admis par toutes les juridictions que le réseau de l'Etat était soumis à la compétence du Tribunal de commerce (article 634) comme entrepreneur de transport, et à l'article 1382 du Code civil comme responsable envers les tiers. (Voir *Code des Lois Politiques annoté, Travaux Publics* n° 11133 ; Tribunal des Conflits, 22 juin 1889 ; Dalloz 1891, 3, 1, aff. Vergnionx c. Administration des Chemins de fer de l'Etat et Chambre des Requêtes, 8 juillet 1889 ; Dalloz 1889, 333, aff. Société de l'Imprimerie Paul Dupont contre Chemins de fer de l'Etat).

⁽²⁾ Nous faisons allusion à l'âpreté avec laquelle une ville exploitant elle-même la distribution du gaz s'est défendue au Conseil d'Etat, même bien avant la guerre (voir arrêt du 21 février 1919, Dalloz 1920, 3, 32, affaire Lachaux, et *Revue des Concessions*, année 1919, p. 59) dans les circonstances suivantes : le 13 mars 1913 elle avait pris une délibération tendant à majorer de 0,02 fr le mètre cube de gaz. La délibération avait été approuvée par le Préfet, le 31 mars suivant. Elle avait été attaquée devant ce fonctionnaire par le sieur Lachaux qui prétendit y voir une taxe fiscale créée sur le gaz. La ville fit plaider et fit naturellement admettre par le Conseil d'Etat qu'elle avait agi simplement pour mettre en rapport le prix de la marchandise vendue et le prix de revient ; c'est très juste, et c'est généralement ce que les concessionnaires demandent aux communes qui le trouvent alors beaucoup moins simple et naturel. En tout cas la délibération de la ville de Péronne a été reconnue légale en conformité des articles 61, § 1^{er} de la loi du 5 avril 1884 qui permet au conseil municipal de régler les affaires de la commune et 133, § 10 qui comprend, dans le budget, le produit des distributions communales.

faveur d'une certaine catégorie de consommateurs et sera tenue, par les derniers paragraphes de l'article 11 de faire profiter de cette diminution tous les abonnés ayant une utilisation du courant dans les mêmes conditions (puissance, horaire, etc...). Si elle manque à cette obligation quel sera le tribunal compétent pour l'y contraindre ? Elle peut aussi ne pas tenir compte des stipulations insérées dans la police que prévoit l'article 18 ; en un mot, envisager une difficulté, ce n'est pas prévoir une chimère.

Il faut écarter avant tout (il est à peine besoin de l'indiquer) la possibilité de saisir du différend le conseil de préfecture ; cette juridiction est compétente pour statuer sur les contrats de travaux publics passés par les autorités avec les entrepreneurs qui doivent les réaliser, ou bien sur les dommages-intérêts que réclament les victimes de l'exécution de travaux publics ; de même, doit être écartée la juridiction du Conseil d'Etat, bien que nous nous trouvions en face d'un service public et que l'on tende aujourd'hui à donner une extension *considérable* à cette juridiction (voir Thaller, *Traité de droit commercial*, 1904, p. 112), non seulement en ce qui concerne l'Etat (ce qui pourrait s'expliquer dans une certaine mesure par la loi du 26 septembre 1793 : toutes les créances de l'Etat seront réglées administrativement) mais encore en ce qui concerne les départements et les communes.

Une première raison se trouverait dans ce fait que la commune a passé un contrat avec un particulier et, comme le fait remarquer M. Romieu lui-même ⁽¹⁾ dans ses conclusions dans l'affaire Terrier, 6 février 1903 (Dalloz, 1904, 1, 65) il est certain qu'en l'absence de textes spéciaux, tous les contrats communaux, en principe, sont justiciables des tribunaux de droit commun, c'est-à-dire, dans notre hypothèse, *le tribunal civil*. Mais il existe une autre raison beaucoup plus importante ; le Conseil d'Etat paraît retenir jalousement à sa barre, pour les juger, les situations dans lesquelles les autorités (Etat, département, commune) interviennent dans des conditions qui, pratiquement, ne pourraient jamais être celles d'un particulier, et c'est très normal ; par exemple dans l'affaire Terrier (arrêt du 6 février 1903) le département avait promis, dans l'établissement de son budget, une gratification de 0,25 fr par vipère tuée. Un homme se présenta pour réclamer, d'après ce tarif, plus de 2 000 fr. Le Conseil d'Etat

⁽¹⁾ M. Romieu, en effet, qui a proclamé la compétence du Conseil d'Etat pour juger toutes les actions entre les tiers et les personnes publiques, fondées sur l'exécution, l'inexécution ou la mauvaise exécution du service public, cite lui-même deux décisions (affaire Moreau) l'une du Conseil d'Etat du 3 juin 1900 et l'autre du tribunal des Conflits du 16 novembre 1901, rapportées toutes les deux dans Dalloz, 1901, 3, 9, dans lesquelles la compétence judiciaire a été formellement reconnue pour statuer sur le contrat consistant dans l'offre acceptée par une sage-femme de venir s'installer dans une commune, avec une subvention de 600 fr promise pour l'y attirer. Sur la compétence judiciaire, même en ce qui concerne l'Etat, consulter les conclusions remarquables de M. Laferrière, arrêt 12 juin 1901 (Dalloz, 1902, 1, 372, aff. Dessauer contre l'Etat).

jugea que le département avait géré le service de la salubrité publique, et retint l'affaire au lieu de la renvoyer au tribunal judiciaire : les corps des vipères tuées ne constituent pas une marchandise. De même, dans l'affaire Thérond (arrêt du 4 avril 1910) la commune de Montpellier avait contracté pour l'enlèvement de l'équarissage des bêtes trouvées mortes sur la voie publique. Cela n'a rien de commun avec l'acte qu'une commune fait signer, sous le nom de police à un consommateur désireux de s'assurer du courant, comme le font quotidiennement tant de distributeurs (personnes ou sociétés). Or, M. Romieu est le premier à déclarer qu'il peut se faire que « l'administration, tout en agissant, non comme privée, mais comme personne publique dans l'intérêt d'un service public proprement dit, n'invoque pas le bénéfice de sa situation de personne publique et se place volontairement dans les conditions ordinaires en passant un de ces contrats de droit commun d'un type nettement défini par le Code civil, soit en effectuant une de ces opérations courantes que les particuliers font journellement et pour

lesquelles l'Administration est réputée agir comme un simple particulier. »

Il nous paraît que c'est absolument le cas d'une commune faisant une distribution : peu importe que l'on regarde la police comme une vente de kilowatts-heure ⁽¹⁾ ou comme elle l'est réellement un acte de louage d'industrie par lequel le distributeur s'engage pendant un temps donné à maintenir un courant déterminé au service d'une personne. Cette police est en réalité un contrat banal et ne change pas de nature lorsque c'est une commune qui devient le fournisseur.

Nous considérons donc que, contre celle-ci, l'assignation doit être donnée à comparaître devant le tribunal de droit commun ; faute d'un texte spécial, il nous paraît impossible de saisir le tribunal de commerce, mais seulement le tribunal civil. La commune ne peut être considérée ni comme un commerçant, en général, ni comme ayant fait un acte de commerce, dans le cas particulier.

Paul BOUGAULT,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur l'enregistrement des actes sous-seings privés concernant les engagements entre des sociétés et leur personnel.

Le « Journal officiel » du 28 avril 1922 publie, p. 1 507 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

13 442. — M. Méritan, député, demande à M. le ministre des Finances si les actes synallagmatiques passés entre une société et : 1° le directeur-gérant de ses usines pour la gérance de l'usine ; 2° un représentant de commerce pour la vente de ses produits, doivent être enregistrés dans les trois mois de leur date et, dans le cas de l'affirmative, être considérés comme acte de commerce assujettis au droit proportionnel. (Question du 8 avril 1922).

Réponse. — Les actes sous-seings privés visés par l'honorable député paraissent présenter le caractère d'actes de commerce non assujettis, comme tels, à l'enregistrement dans un délai déterminé. Il s'agit toutefois de questions d'espèce qui ne peuvent être résolues qu'après un examen du caractère propre de chaque convention particulière.

Sur l'exonération de l'impôt sur le chiffre d'affaire des frais et honoraires d'expertises.

Le « Journal officiel » du 11 avril 1922 publie, p. 1 476 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse suivantes :

13 015. — M. Henri Fougère, député, demande à M. le ministre des Finances si un expert judiciaire dont les frais et honoraires sont taxés comme le sont ceux des officiers ministériels, doit l'impôt sur le chiffre d'affaires sur ses frais et honoraires d'expertises, alors que les officiers ministériels n'y sont pas assujettis. (Question du 16 mars 1922.)

Réponse. — Les personnes qui procèdent à des expertises

ordonnées par l'autorité judiciaire accomplissent des opérations qui relèvent d'une profession non commerciale ; elles ne sont pas, par suite, redevables de l'impôt sur le chiffre d'affaires sur les frais et honoraires qui leur sont alloués à l'occasion de ces expertises.

Cahier des charges-type pour la concession d'une distribution publique d'énergie électrique par une commune ou un syndicat de communes.

Le texte de ce cahier des charges publié au « Journal officiel » du 20 juillet 1921, pages 8 392 à 8 398, et reproduit dans la « Revue générale de l'Électricité », 27 août 1921, t. X, pages 269 à 276, vient de donner lieu à la publication dans le « Journal officiel » du 31 mars, page 3 524 de la note suivante :

Errata au « Journal officiel » du 20 juillet 1921, décret portant modification des cahiers des charges-types de concessions de distribution d'énergie électrique : page 8 395, 1^{re} colonne, au 2° (article 11, page 272, 1^{re} colonne, de la « R. G. E. »), au lieu de : « Si la distribution communale était alimentée par une distribution d'énergie électrique aux services concédés par l'Etat », lire : « Si... par une distribution d'énergie électrique aux services publics concédée par l'Etat » ; page 8 397, 3^e colonne, article 30, 4^e alinéa (page 276, 1^{re} colonne, de la « R. G. E. »), au lieu de : « En cas de manquement aux obligations imposées par les articles 6, 9, 13, lire : En cas de manquement aux obligations imposées par les articles 6, 9, 13, 14 et 28 ».

(1) Consulter sur ces questions : Copper, t. 2, p. 379. Il cite différents arrêts rendus en matière fiscale. (Civ., 22 novembre 1880. Dalloz. 1881. 1. 169, Ville de Dijon c. Administration de l'Enregistrement et Ch. des Req. 31 juillet 1883. Dalloz, 1884. 1. 245, affaire Ville de Dijon contre Administration de l'Enregistrement).

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité
réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 21,

27 MAI 1922.

Chronique. — A propos du projet de normalisation des éléments de construction mécanique. — Bibliographies : Annuaire du Syndicat des Mécaniciens, Chaudronniers et Fondeurs de France pour 1922; Agenda Dunod 1922, p. 769-770.

Section scientifique et technique. — Sur la prédétermination du facteur de puissance des moteurs asynchrones polyphasés, par LÉON OTS-CHEVALIER, p. 771. — Sur l'emploi du wattmètre en courants alternatifs dans le cas de très faibles facteurs de puissance, par H. CHAUMAT, p. 774. — Revues, analyses et informations : Equations simples relatives au fonctionnement des lampes, p. 777; Rayons X nous caractéristiques émis par l'arc éclatant dans les gaz et les vapeurs, p. 780.

Section industrielle. — L'Usine hydroélectrique de Beaumont-Montoux, description générale des installations, par J. REYVAL, p. 781. — L'agonie du tracteur agricole, par Ach. DELAMARRE, p. 790. — Note sur les qualités générales des divers paliers de transmissions, avantages des paliers à billes, par H. BURSIE, p. 792. — Revues, analyses et informations : La rigidité diélectrique des isolants solides, p. 795; Les phénomènes radiotélégraphiques, p. 797; Lignes étalon pour les mesures relatives aux effets d'induction provoqués par les courants téléphoniques dans une canalisation à circuits multiples, p. 799; Considérations théoriques sur le problème de la construction des galeries sous pression, p. 800.

Section économique et financière. — Les prescriptions au profit du Trésor, par FERNAND-JACO, p. 801. — Assemblées générales : Revue générale de l'Électricité, p. 803; Société avignonnaise d'Électricité, p. 804.

Section de législation. — Un récent arrêt de la Chambre des Lords au sujet de la lampe électrique à incandescence à atmosphère gazeuse, par T. PAUSERT, p. 805.

A propos du projet de normalisation des éléments de construction mécanique. — Le Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique nous adresse à ce sujet la lettre suivante :

Dans le numéro « R. G. E. » du 13 mai 1922, t. XI, vous avez publié, page 714, le fascicule X-I de la Commission permanente de Standardisation ayant pour objet la standardisation de toutes les dimensions quelles qu'elles soient.

Notre Syndicat, qui voit de graves dangers à un pareil projet, a adressé à la Commission permanente de Standardisation, à la date du 2 courant, une lettre dont copie ci-jointe.

Nous vous serions très obligés, pour renseigner les nombreux lecteurs de votre Revue, de vouloir bien insérer cette lettre dans un de vos plus prochains numéros. Nous vous en remercions par avance.

Voici ci-après, la lettre dont il est question :

Monsieur le secrétaire général,

Vous avez bien voulu, par votre lettre du 12 avril dernier, nous informer de la mise à l'enquête publique du projet de normalisation des dimensions qui fait l'objet du fascicule X-I, en attirant notre attention sur ce projet qui créerait une règle générale devant servir de base dorénavant à la fixation de tous les produits fabriqués et de toutes les grandeurs qui se prêtent à la normalisation, et nous inviter à vous adresser les observations que ce projet pourrait suggérer à notre Syndicat.

Nous avons l'honneur de formuler ci-dessous ces observa-

tions en vous priant de vouloir bien les verser au dossier de l'enquête.

La proposition envisagée paraît à notre Syndicat extrêmement dangereuse. Si, en effet, il est possible de recommander pour certaines normalisations des dimensions déterminées, il nous paraît peu admissible d'établir à priori une règle de normalisation qui serait la même pour toutes les dimensions imaginables. Quelque séduisante que puisse être une pareille règle au point de vue purement spéculatif, elle n'en reste pas moins purement arbitraire et incapable de se plier aux multiples exigences de la pratique. Si on l'adoptait, on serait certainement obligé d'y apporter dans l'avenir de multiples dérogations, ou d'introduire dans la série des termes une telle multiplicité d'intercalaires que l'un des buts essentiels de toute normalisation, à savoir la limitation du nombre des types, en serait complètement méconnue.

En particulier, les machines électriques comportent nombre d'éléments qui sont déterminés par des considérations parfois délicates et presque toujours complexes, de telle sorte qu'il sera fréquemment impossible de les faire rentrer dans une série arbitrairement choisie, quelque intéressantes que soient les considérations qui ont pu amener à l'envisager.

Bornons-nous à un exemple particulièrement simple; pour une fréquence déterminée f , le nombre de tours par minutes d'un alternateur synchrone est égal à $\frac{120 f}{p}$, où p est le nombre de pôles, qui est nécessairement un nombre entier pair. Pour la fréquence de 50 p. s. la série des vitesses angulaires possibles sera, par conséquent de : 3 000-1 500-750-375 t : mn.

Il suffit de comparer à la série principale, soit 3 200-2 500-2 000-1 600-1 250-1 000-800-630-500-400-320, pour voir que, bien que cette série contienne nombre de termes inutiles pour l'objet envisagé, elle est incapable de donner satisfaction. Il paraît, d'autre part, peu probable que la fréquence de 50 p. s., adoptée comme normale dans l'Europe entière, soit portée à 53 $\frac{1}{3}$ simplement pour que le nombre de tours par minute des machines synchrones rentre dans une série arbitrairement choisie.

La question devient encore bien plus grave lorsqu'on envisage les moteurs synchrones; dans ces moteurs le nombre de tours par minute se déduit du nombre de tours du moteur synchrone en le diminuant du glissement; or, ce glissement dépend de la charge du moteur, de sorte que les nombres de tours que feront les moteurs, par minute, dépendront de leur charge. Même si l'on n'envisage que le nombre de tours par minute à la puissance normale, le glissement dépend des données du moteur dans des conditions telles qu'il sera impossible de construire des moteurs asynchrones dont le nombre de tours par minute à puissance normale arrive à se caser dans une série arbitrairement choisie pour toutes les dimensions.

On trouverait assurément, sans chercher bien longtemps, de nombreux exemples de pareilles impossibilités. Nous n'insisterons pas sur ce point et nous nous bornerons à attirer l'attention de la Commission sur la grave erreur de principe que constitue la recherche d'une série applicable à toutes les grandeurs.

La Commission permanente de Standardisation a été fondée en s'inspirant du Committee of Standards britannique, dont l'œuvre est déjà très importante. Même si l'on veut arriver en France aux résultats fort intéressants obtenus dans l'Empire britannique, il ne suffit pas de prendre le nom du Comité; il faut surtout s'inspirer de ses méthodes. Or, la méthode britannique constitue l'antithèse parfaite de celle qui est proposée par le fascicule X-1. Cette dernière méthode fait table rase de tout ce qui existe, elle ignore systématiquement l'énorme effort industriel réalisé depuis un siècle, elle adopte une base purement mathématique et décrète que toute l'industrie devra s'y plier, sans songer un seul instant qu'elle ne dispose d'aucun moyen de contrainte à cet effet. Les Anglais procèdent exactement à l'opposé; quand ils étudient une normalisation, ils étudient cette normalisation spéciale, et non pas toutes les normalisations d'un seul coup; ils commencent par se rendre un compte exact de tout ce qui existe et établissent des séries qui tiennent soigneusement compte de ces résultats acquis; ils ne promulguent, enfin, une normalisation qu'après s'être mis soigneusement d'accord avec les principaux intéressés. L'attention de la Commission permanente ne saurait être trop sérieusement attirée sur ces manières de procéder, qui recèlent d'autres chances de réussite que celle qui lui est soumise dans le fascicule X-1.

C'est en s'inspirant de cette méthode britannique que notre Syndicat est parvenu en 1918 à préparer, et le Comité électrotechnique français à mettre sur pieds, une série normale des tensions à employer dans les distributions d'énergie électrique. Quand notre Syndicat a connu le désir du ministre des Travaux publics de normaliser ces tensions, il ne s'est pas mis en face d'une série arbitraire comme celle du fascicule X-1, malgré que cette manière d'opérer ait été vivement soutenue à l'époque par des hommes de valeur; il s'est placé en face de la réalité qui comportait d'une part environ

120 tensions différentes en usage et, d'autre part, une résistance acharnée des exploitants à modifier leurs tensions usuelles. Il a étudié ce qui pouvait être raisonnablement proposé, ramené ce nombre énorme de tensions à un nombre véritablement faible, exposé avec soin aux distributeurs la nécessité de la normalisation et obtenu finalement l'adhésion expresse ou tacite des exploitants à la série normalisée qui fut adoptée par le ministre.

Toute autre manière de procéder nous paraît ne pouvoir, au moins dans nombre de cas, aboutir qu'à un échec. C'est parce que nous désirons vivement voir l'œuvre de la Commission couronnée d'un succès complet et durable que nous nous permettons d'insister pour qu'elle s'écarte de méthodes qui, toutes séduisantes qu'elles soient pour notre esprit de logiciens, sont éminemment dangereuses au point de vue de la réalisation du but désiré.

Veuillez agréer, Monsieur le secrétaire général, l'assurance de notre considération très distinguée.

Le délégué général,

E. BRYLINSKI.

Bibliographie : Annuaire du Syndicat des Mécaniciens, Chaudronniers et Fondeurs de France pour 1922⁽¹⁾.

— Cet ouvrage contient, outre la liste des adhérents au nombre de près d'un millier, leur répartition par localités et par professions ainsi que la liste détaillée de leurs fabrications. Cette dernière rubrique qui comprend près de 2 000 articles est appelée à rendre service aux personnes désirant trouver à coup sûr les constructeurs de la machine ou de l'instrument qu'ils recherchent.

Bibliographie : Agenda Dunod 1922⁽²⁾. — Ce petit volume fait partie d'une série d'ouvrages connus et appréciés depuis longtemps. Il constitue un aide-mémoire précieux pour toute personne s'occupant de questions relatives à l'industrie électrique. Les renseignements qu'il contient, en nombre suffisant et judicieusement choisis, rendent, par leur groupement sous diverses rubriques générales, les recherches assez rapides.

En plus de la partie purement électrique, nous signalons une liste de fournisseurs des principaux articles qui intéressent l'électricien, un vocabulaire électrotechnique et un exposé de la législation concernant les distributions d'énergie électrique. Un chapitre sur les unités, placé au début, permet à ceux qui calculent d'éviter les erreurs de symbole, de notation ou d'interprétation qui se produisent trop souvent.

L'ouvrage se termine par quelques pages contenant les tables et formules générales qui, tout en étant pas du domaine exclusif de l'ingénieur-électricien, sont cependant indispensables à celui-ci pour son travail courant.

Notons que le format de cet ouvrage, fort réduit, permet de l'avoir toujours sur soi et d'y recourir en toute occasion, même en voyage ou sur un chantier. Cet avantage pratique doit certainement contribuer pour une large part au succès des volumes de cette collection. — B. E.

(1) Un volume, format 24 cm \times 16 cm, 691 pages, en vente au siège social, 94, rue d'Amsterdam, Paris 9^e. Prix : broché, 18 fr., cartonné toile, 20 fr.

(2) Un volume, format 15 cm \times 10 cm, 340 + xxxii pages, 115 figures, édité par la librairie Dunod, 47, quai des Grands-Augustins, Paris VI^e. Prix : 9 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Sur la prédétermination du facteur de puissance des moteurs asynchrones polyphasés

Dans leur « Etude comparée sur les diagrammes des moteurs asynchrones polyphasés » ⁽¹⁾, MM. Le Monnier et Decotte ont proposé des méthodes originales de prédétermination du facteur de puissance des moteurs asynchrones polyphasés. L'auteur démontre que la méthode habituelle des diagrammes circulaires excentriques ne leur est en aucun point inférieure.

Introduction. — Dans une étude récente, particulièrement utile et opportune, MM. Le Monnier et Decotte ont fait un examen théorique et pratique de la prédétermination du facteur de puissance en charge des moteurs asynchrones polyphasés.

Les méthodes originales et très intéressantes qu'ils proposent : *diagramme corrigé* et *diagramme polaire*, sont contrôlées par de nombreux essais faits dans des conditions diverses, avec des moteurs de faibles puissances ⁽²⁾.

Ces méthodes ont donc le grand avantage d'être pratiquement exactes, au moins dans les conditions envisagées.

Mais, à notre avis, les méthodes connues des diagrammes excentriques, tout en étant plus simples, peuvent donner des résultats absolument équivalents.

C'est ce que nous nous proposons d'expliquer et de montrer dans cette note ⁽³⁾.

Nous nous limiterons pourtant à la comparaison entre la méthode de Grob ⁽⁴⁾ et celle, proposée, du diagramme corrigé. Le diagramme polaire, par son originalité même, est moins facilement comparable et d'ailleurs, de l'avis des auteurs, il est exactement équivalent au diagramme corrigé ⁽⁵⁾.

A. Exposé. — MM. Le Monnier et Decotte ont montré nettement, par différents exemples, que le diagramme normal de Grob donne, pour le facteur de puissance en charge, des valeurs trop faibles. Pourtant, cette méthode est *mathématiquement équivalente* à celles qu'ils proposent, car elle tient compte d'une façon analogue, de la résistance du stator et des pertes dans le fer.

⁽¹⁾ *R. G. E.*, du 2 avril 1921, t. ix, p. 463.

⁽²⁾ Nous remercions vivement MM. Le Monnier et Decotte pour la grande amabilité avec laquelle ils ont mis à notre disposition, avec l'autorisation de les reproduire, les résultats des essais sur lesquels ils se sont basés.

⁽³⁾ Elle ne concerne que cette seule question et non les autres points (conditions d'essai, etc.) envisagés dans l'étude citée.

⁽⁴⁾ *L'Eclairage électrique*, 24 septembre 1904, t. xl, p. 498.

⁽⁵⁾ *R. G. E.*, 2 avril 1921, t. ix, p. 467.

Les différences sensibles constatées dans les résultats tiennent donc nécessairement, à des *différences de base* : soit dans les données, soit dans l'interprétation de certains facteurs.

C'est bien ce que l'on constate à l'examen. Il y a même, entre les méthodes en question, plusieurs différences de base. Certaines sont importantes, d'autres négligeables. Les différences de base *importantes* sont relatives aux *données*.

a) Dans la méthode normale de Grob, l'essai à vide se fait à la tension normale ; dans le diagramme corrigé, il se fait à une tension inférieure, appelée tension interne.

b) Dans la première méthode, on compte simplement sur le courant de court-circuit mesuré ; dans la seconde, on majore ce courant de celui des pertes dans le fer à vide.

Les différences de base *négligeables* sont relatives à des *interprétations*.

c) Dans le premier diagramme, on suppose les pertes dans le fer constantes ; dans le second, on les fait dépendre de la tension interne.

d) Dans le premier, on admet que les courants se répartissent de la même façon à tous les régimes ; dans le second, on compte sur un courant de court-circuit légèrement supérieur à celui qui est supposé (implicitement) traverser la résistance du stator.

L'influence des différences importantes a) et b) est facile à comprendre.

L'exécution de l'essai à des tensions différentes est sans effet sur les diagrammes lorsque la machine n'est pas saturée. Mais comme elle l'est habituellement, il en résulte que, si l'on fait l'essai à vide à la tension normale (Grob), on compte sur une réactance à vide trop faible (régime plus saturé que celui de pleine charge), d'où résultera une diminution du facteur de puissance prédéterminé.

Dans le diagramme corrigé la tension d'essai à vide (tension interne) est inférieure à la tension normale, mais elle est théoriquement encore trop élevée, car elle est égale à la tension normale diminuée seulement de la chute ohmique due à la résistance du stator,

alors que ses fuites interviennent également, au moins en partie, pour diminuer le flux en charge ⁽¹⁾. Mais, l'erreur qui en résulte est compensée, dans le diagramme considéré, par le fait *b*) que le courant de court-circuit est légèrement majoré.

Les différences de base *c*) et *d*) ont une influence inverse des deux premières, mais, ainsi que nous le montrerons ci-après, elles sont de l'ordre des erreurs de mesures et de tracé, c'est-à-dire pratiquement négligeables.

Aussi nous ne tiendrons compte ci-après que des différences importantes *a*) et *b*). Comme elles ne concernent que les données, elles ne modifient en rien le tracé des diagrammes excentriques directs (Grob ou autres), qui conservent donc toute leur simplicité.

B. Diagrammes excentriques directs. — I. MÉTHODE CORRESPONDANT AU DIAGRAMME CORRIGÉ. — D'après l'exposé du paragraphe précédent, il suffira de reprendre sans modification le tracé connu du diagramme de Grob ⁽²⁾. Mais les données seront celles du diagramme corrigé, ramenées, naturellement, proportionnellement à la tension normale.

Par exemple, pour un moteur triphasé, on réalise les essais et tracés suivants :

1° On mesure la résistance par phase du stator ⁽³⁾.

En la multipliant par $\sqrt{3}$, on aura la résistance combinée *R*.

2° On fait l'essai à vide à la tension interne *V* donnée par la formule

$$V = E - RI,$$

dans laquelle *E* représente la tension normale et *I*, le courant probable à la charge pour laquelle on veut prédéterminer le facteur de puissance.

Cette tension *V* ne peut être déterminée qu'approximativement ⁽⁴⁾ en se donnant a priori le déphasage probable du courant; par exemple, en s'aidant de la valeur donnée par un simple diagramme d'Heyland. D'ailleurs, une erreur relative de quelques centièmes sur cette tension est sans influence sensible sur le résultat.

Soient, pour la tension *V* choisie, \mathcal{I}_0 le courant à vide choisi et φ_0 , son déphasage ⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Pour plus de détails à ce sujet, voir l'étude très complète de M. Bethenod « Diagramme des moteurs polyphasés asynchrones tenant compte de la saturation magnétique », *R. G. E.*, 21 décembre 1918, t. IV, p. 941.

⁽²⁾ Ou de tout autre diagramme direct de courant ou d'impédance, pourvu qu'il tienne compte de la résistance du stator et des pertes dans le fer.

⁽³⁾ Renforcée, par exemple, comme l'indique Grob (*loc. cit.*) pour tenir compte des pertes supplémentaires par courants de Foucault.

⁽⁴⁾ Au besoin par approximations successives.

⁽⁵⁾ Il s'agit plus exactement du courant au synchronisme, donc du courant à vide, déduction faite des pertes par frottement et ventilation. La composante wattée n'est donc relative qu'aux pertes dans le fer et par effet Joule du stator (voir Grob, *loc. cit.*).

Pour le tracé du diagramme, ce courant devra être ramené proportionnellement à la tension normale *E*; il vaut donc

$$I_0 = \mathcal{I}_0 \frac{E}{V}.$$

Le courant correspondant des pertes par effet Joule du stator sera

$$I_c = \frac{RI_0^2}{E}.$$

On trace (fig. 2) le vecteur $O'I_0$ égal à I_0 , déphasé d'un angle φ_0 par rapport à l'axe vertical des intensités, $O'i$. Puis, de la composante wattée $O'A$ de ce courant, on retranche suivant AO le courant I_0 . Le courant restant OO' est celui des pertes dans le fer.

3° On fait l'essai en court-circuit au courant normal *I* et l'on mesure la tension correspondante V_1 , ainsi que l'angle de déphasage φ_1 .

Le courant de court-circuit I_1 correspondant à la tension *E* vaut

$$I_1 = I \frac{E}{V_1}.$$

On trace (fig. 2), à partir de *O* au lieu de O' ⁽¹⁾, le vecteur OI_1 égal à I_1 , déphasé par rapport à $O'i$ de l'angle φ_1 .

4° On trace le diagramme circulaire passant par I_0 et I_1 , et dont le centre se trouve sur la droite I_0C (fig. 2) qui fait avec l'horizontale un angle 2α double de l'angle que fait avec l'horizontale le vecteur OI_0 .

5° On trace de O' comme centre, avec un rayon égal à *I*, un arc de circonférence qui coupe le diagramme en *I*. Le vecteur $O'I$ représente le courant de charge considéré, et son déphasage φ donne le facteur de puissance, $\cos \varphi$ cherché.

II. AUTRES MÉTHODES. — La méthode que nous venons d'exposer, dérivée du diagramme corrigé, est pour une certaine part empirique; mais elle se recommande par sa valeur pratique, contrôlée par de nombreux essais, comme nous l'avons fait remarquer plus haut.

Toutefois, d'autres méthodes pratiques relatives aux données peuvent être envisagées ⁽²⁾; quelles qu'elles soient, elles ne changent en rien le tracé des diagrammes excentriques (Grob, ou autres), ce qui ne serait pas le cas avec le diagramme corrigé.

Les diagrammes directs se prêtent, d'ailleurs, également à diverses interprétations de certains facteurs.

⁽¹⁾ Voir diagramme corrigé. *R. G. E.* du 2 avril 1921, t. IX, p. 465.

⁽²⁾ Ainsi, au lieu d'augmenter très arbitrairement le courant de court-circuit, il paraît plus logique de faire l'essai à vide à une tension, inférieure à la tension interne *V*, correspondant plus exactement à la saturation magnétique de pleine charge. Pour la même raison, on pourrait faire l'essai en court-circuit à une tension voisine de la tension normale, etc...

Ainsi, si au lieu de considérer les pertes dans le fer comme constantes, on désire les faire dépendre de la tension interne $V^{(1)}$, ou même d'une tension plus faible (correspondant, par exemple, au flux de pleine charge) $(^2)$, on est simplement amené à abaisser légèrement la ligne du centre I_0C d'un angle assez facile à déterminer.

Les diagrammes excentriques directs ont donc le double avantage de la *simplicité* et de la *souplesse*.

C. Application. — Dans ce paragraphe, nous ferons à titre d'exemple une comparaison pratique entre le diagramme corrigé et le diagramme de Grob correspondant. Dans ce but, nous reprendrons l'exemple exposé par M. Le Monnier et Decotte, pages 466 et 467 de l'étude précitée.

1. **DONNÉES.** — Il s'agit d'un moteur de 0,75 ch, dont on désire prédéterminer le $\cos \varphi$ pour le régime de 6,5 A sous 250 v.

a) La résistance par phase du stator est de 2,75 ohms, par suite

$$R = 2,75 \times 1,73 = 4,75 \text{ ohms,}$$

b) L'essai à vide donne, pour la tension interne choisie de 226,6 v, le courant $J_0 = 2,09$ A avec $\cos \varphi_0 = 0,077$.

Ce courant se décompose en un courant réactif

$$J_0 \sin \varphi_0 = 2,08 \text{ A,}$$

et un courant watté

$$J_0 \cos \varphi_0 = 0,161 \text{ A,}$$

comprenant le courant des pertes par effet Joule

$$J_c = \frac{4,75 \times 2,09^2}{226,6} = 0,091$$

et celui restant des pertes dans le fer

$$J_f = 0,161 - 0,091 = 0,07 \text{ } (^3);$$

c) L'essai en court-circuit donne pour le courant de 6,5 A, une tension $V_1 = 125$ v et un facteur de puissance $\cos \varphi_1 = 0,49$.

⁽¹⁾ On porterait le courant I_c en $O'A'$ suivant OA ; la droite du centre I_0C' ferait alors, avec l'horizontale, un angle égal à deux fois $O'I_0A'$.

⁽²⁾ On porterait horizontalement, à partir de A' en A'' , un vecteur dont la grandeur dépend de la chute de réactance de fuites admise; la droite du centre I_0C'' ferait alors, avec l'horizontale, un angle égal à deux fois $O'I_0A'$.

⁽³⁾ Cette décomposition n'est pas nécessaire pour le tracé du diagramme de Grob.

II. **DIAGRAMME CORRIGÉ.** — Reprenons le tracé figure 1 de ce texte qui reproduit la figure 9 du mémoire de MM. Le Monnier et Decotte ⁽¹⁾.

Portons $J_f = 0,07$ en $O'O$ et $J_0 \sin \varphi_0 = 2,08$ en OD , puis la tension en court-circuit de 125 v, à partir de O , en

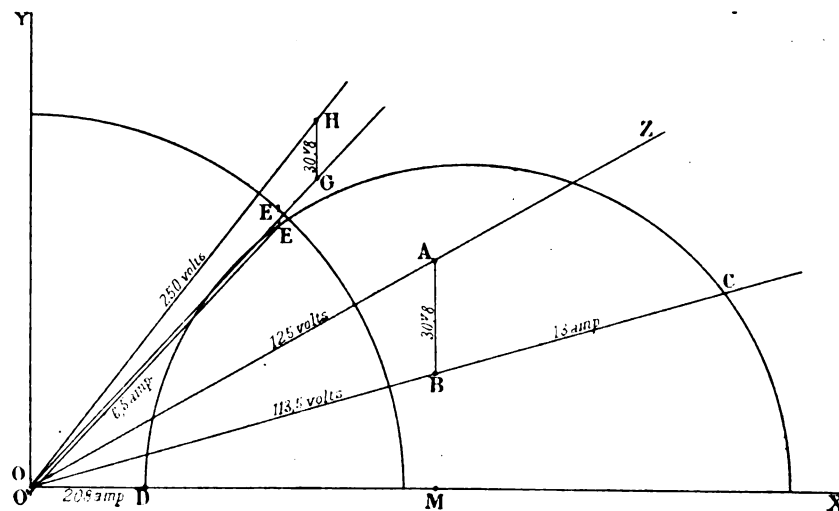


Fig. 1.

OA avec $\cos \varphi_1 = 0,49$, et suivant AB la chute ohmique

$$RI = 4,75 \times 6,5 = 30,87 \text{ v.}$$

Nous lisons OB = 113,5 v, d'où résulte le courant de court-circuit

$$I_0 = \frac{6,5 \times 226,6}{113,5} = 13 \text{ A,}$$

que nous portons en OC.

Traçons le diagramme circulaire passant par D et C et dont le centre se trouve sur l'horizontale OD.

Déterminons le point E sur ce diagramme tel que OE = 6,5 A.

Reportons $O'O$ en EE' ; puis, suivant OE' , portons $OG = 226,6$ v et en GH la chute ohmique de 30,8 v. Nous vérifierons que OH est égal à la tension normale 250 v.

Le $\cos \varphi$ cherché vaut 0,785.

III. **DIAGRAMME DIRECT.** — Les données sont ramenées proportionnellement à la tension normale $E = 250$ v. Traçons successivement (fig. 2) : le courant à vide $O'I_0$, de grandeur

$$I_0 = 2,09 \times \frac{250}{226,6} = 2,31,$$

avec $\cos \varphi_0 = 0,077$;

⁽¹⁾ R. G. E., 2 avril 1921, t. IX, p. 467.

le courant des pertes dans le fer $O'O$, valant

$$I_f = 0,07 \times \frac{250}{226,6} = 0,0777;$$

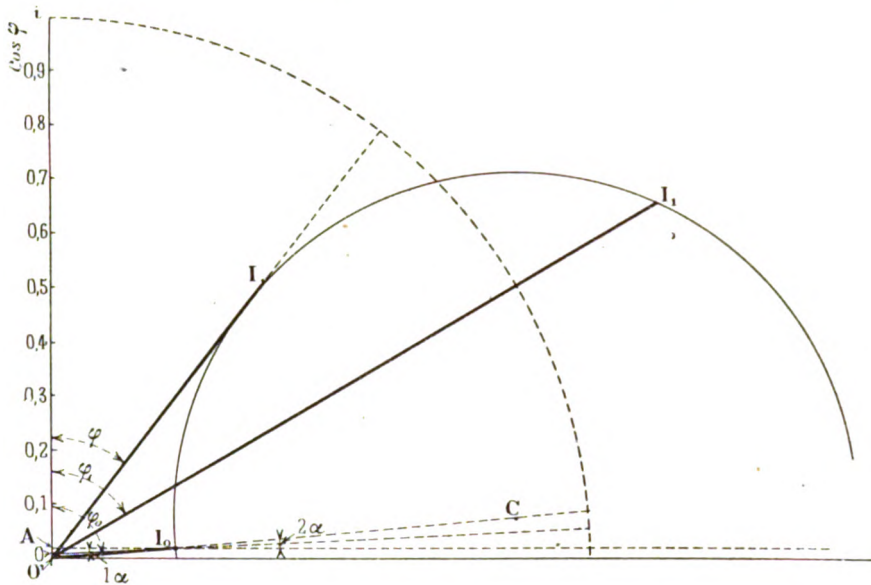


Fig. 2.

Le vecteur OI_1 doit partir de O et non de O' ; par contre $O'I_0$ et $O'I$ partent bien de O' . (L'origine O se confond avec le O (zéro) de l'échelle des $\cos \varphi$).

le courant de court-circuit OI_1 , à partir de O , valant

$$I_1 = 5,5 \frac{250}{125} = 12,9 \text{ A,}$$

avec $\cos \varphi_1 = 0,49$,

le diagramme circulaire passant par I_0 et I_1 et, dont le centre se trouve sur la droite I_0C , faisant avec l'horizontale un angle égal au double de celui $O'I_0A$ fait par $O'I_0$.

Déterminons sur ce diagramme le point I , de façon que $O'I = 6,5 \text{ A}$. Sa direction donne le facteur de puissance cherché

$$\cos \varphi = 0,786.$$

IV. CONCLUSIONS. — Le moteur considéré a donné, pour le $\cos \varphi$ à la charge de $6,5 \text{ A}$ sous 250 V :

a) Par essai direct en charge, $0,782$;

b) Par le diagramme de Grob normal, $0,76$;

c) Par le diagramme corrigé, $0,785$;

d) Par le diagramme direct correspondant, $0,786$.

La valeur donnée par le diagramme direct est donc absolument équivalente à celle du diagramme corrigé, la différence ⁽¹⁾ étant de l'ordre des erreurs de mesure et de tracé du diagramme.

D'ailleurs, ce diagramme est plus simple et se prête mieux aux variantes ⁽²⁾ dans l'interprétation des données et des facteurs.

LÉON OTS-CHEVALIER.

Sur l'emploi du wattmètre en courants alternatifs dans le cas de très faibles facteurs de puissance

La mesure des puissances en courant alternatif, dans le cas de très grands déphasages, est une question à l'ordre du jour. Le wattmètre donne lieu à des corrections incertaines. Dans les lignes qui suivent, l'auteur indique deux méthodes, dont une qui lui est personnelle, pour l'élimination du facteur de correction d'un wattmètre.

On sait que l'emploi du wattmètre pour la mesure des puissances en courant alternatif entraîne la nécessité d'un facteur de correction, de sorte que l'on doit généralement écrire

$$(1) \quad P_v = P_l \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}{1 + \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \Phi},$$

formule dans laquelle P_v est la puissance vraie; P_l , la puissance lue telle qu'elle résulte de l'étalonnage du

wattmètre en courant continu; φ , le déphasage du courant dans le circuit à fil fin par rapport à la différence de potentiel aux bornes de l'appareil d'utilisation et Φ , le déphasage propre au circuit d'utilisation lui-même.

Cette formule ne tient pas compte de la consommation du circuit à fil fin, qui est approximativement

⁽¹⁾ Voir p. 771 (différences de base c) et d).

⁽²⁾ Voir p. 772 (autres méthodes).

proportionnelle à la différence de potentiel, et de l'ordre de 3 w au plus, sous 110 v, dans les bons wattmètres modernes.

On voit que ce facteur dépend de Φ , c'est-à-dire du facteur de puissance de l'appareil d'utilisation, lequel est déterminé à son tour par des lectures simultanées au wattmètre, au voltmètre et à l'ampèremètre.

Le wattmètre donnant la puissance inexactement, il semble donc que l'on se trouve dans un cercle vicieux.

On peut tourner la difficulté par une méthode d'approximations successives évidente, mais qui ne peut donner de résultats acceptables que pour des valeurs assez grandes du facteur de puissance.

En fait, dans la pratique courante, $\tan \varphi$ a une valeur tellement faible que l'on peut confondre la puissance vraie avec la puissance lue lorsque le facteur de puissance est supérieur à 0,5 ou 0,6. Nous appelons ces cas les cas *normaux*.

Quelle solution faut-il adopter dans les cas *anormaux*, c'est-à-dire lorsque le facteur de puissance, $\cos \Phi$, descend à des valeurs de l'ordre de 0,1 ou même de quelques centièmes.

Ces cas anormaux se présentent assez fréquemment (mesures de puissances dans des transformateurs à vide, essais de fer, mesure de la puissance absorbée par une ligne souterraine à vide, etc.). Dans ces cas anormaux, même si φ est très petit, la valeur de $\tan \Phi$ est assez élevée (voisine de 20 pour $\cos \varphi = 0,05$) pour que, si l'on peut toujours négliger $\tan^2 \varphi$ devant l'unité au numérateur, on ne puisse plus négliger $\tan \varphi$ devant l'unité au dénominateur. P_v diffère alors assez notablement de P_l .

Comme nous l'avons dit, $\tan^2 \varphi$ est toujours négligeable devant l'unité, si bien que l'on peut écrire la formule comme suit

$$(2) \quad P_v = \frac{P_l}{1 + \tan \varphi \tan \Phi}.$$

Il est bien entendu que, dans l'application de cette formule, la puissance qui est mesurée n'est pas la puissance absorbée par l'appareil d'utilisation, car le wattmètre mesure toujours quelque chose en trop, qui est la puissance dépensée dans l'un de ses circuits, circuit à gros fil ou circuit à fil fin, suivant le montage employé. Dans le cas le plus recommandable où le montage employé est le montage aval, c'est-à-dire lorsque le circuit à fil fin du wattmètre est connecté directement aux bornes de l'appareil d'utilisation ainsi que le voltmètre, la puissance P_v ci-dessus comprendra la puissance absorbée par l'appareil d'utilisation, celle absorbée par le circuit à fil fin du wattmètre et celle absorbée par le voltmètre. Ces deux dernières peuvent être prédéterminées à l'avance.

Il faudra les retrancher de la puissance vraie pour obtenir la puissance absorbée par l'appareil d'utilisation.

Ces réserves faites, tenons-nous en donc à la formule précédente

$$(3) \quad P_v = \frac{P_l}{1 + \tan \varphi \tan \Phi},$$

On peut écrire $\tan \varphi \tan \Phi = x$ et la formule devient

$$(4) \quad P_v = \frac{P_l}{1 + x}.$$

Voici deux méthodes pour éliminer le facteur de correction.

1°) Imaginons que l'on dispose d'une bobine identique à la bobine mobile du wattmètre et ayant par conséquent la même résistance et le même coefficient de self-induction, cette bobine pouvant être placée à part dans la boîte des résistances additionnelles non inductives qui accompagnent toujours le wattmètre et constituent une partie du circuit à fil fin.

Dans une première opération, on fera la lecture à la façon ordinaire, on lira P_1 et l'on aura

$$(5) \quad P_v = \frac{P_1}{1 + x}.$$

Dans une seconde opération, par le jeu d'un commutateur approprié, on mettra en service la petite bobine dont nous venons de parler en la substituant à une partie des résistances additionnelles réservées à cet effet et dont la résistance sera égale à sa résistance propre. Dans ces conditions, la résistance totale du circuit à fil fin n'ayant pas changé et le coefficient de self-induction étant devenue deux fois plus grand, $\tan \varphi$ a doublé.

On lira donc P_2 et l'on aura

$$(6) \quad P_v = \frac{P_2}{1 + 2x}.$$

Des formules (5) et (6) on tire

$$(7) \quad P_v = 2P_1 - P_2.$$

Ce dispositif que j'avais trouvé de mon côté a été indiqué par Duddell et Mather et a été réalisé dans le wattmètre de ces auteurs construit par Paul, à Londres.

Remarquons que l'on tire de là

$$(8) \quad x = \frac{P_2 - P_1}{2P_1 - P_2}.$$

On peut donc ainsi, non seulement éliminer le facteur de correction, mais encore déterminer x , c'est-à-dire $\tan \varphi \tan \Phi$. La valeur de $\tan \varphi$ pouvant être très exactement connue, cela nous donne le moyen de déterminer l'angle de phase Φ par sa tangente, ce qui est un moyen incomparablement plus précis que la détermination par le cosinus, comme on le fait généralement.

Il n'est pas besoin d'insister plus longtemps sur l'intérêt de cette détermination pour l'amélioration du facteur de puissance des réseaux par les dispositifs bien connus à condition que l'on puisse connaître exactement Φ .

2° J'ai indiqué (*) un autre procédé pour cette même élimination et cette même détermination du facteur de correction. Voici ce procédé.

Le cadre mobile à fil fin porte deux circuits identiques superposés, isolés l'un de l'autre et pouvant être mis, par des dispositifs appropriés, soit en parallèle, soit en série.

Soit l le coefficient de self-induction de ce cadre mobile quand les bobines sont en parallèle ; il sera quatre fois plus grand si les bobines sont mises en série. Si, quand on fait cette manœuvre à l'aide de commutateurs appropriés, on fait varier en même temps les résistances additionnelles en service de façon que la résistance totale du circuit à fil fin reste constante, on fera varier, par suite, dans le rapport de 1 à 4 la valeur de $\tan \phi$ et si P'_2 est la lecture faite lorsque les deux circuits du cadre mobile sont en série, on a :

$$(9) \quad P_v = \frac{P'_2}{1 + 4x}.$$

Il convient de remarquer qu'alors la constante de l'appareil n'est plus la même que dans la première expérience. Pour le même courant i dans le circuit à fil fin, chaque spire est parcourue par le courant $\frac{i}{2}$ lorsque les deux enroulements du cadre mobile sont en parallèle. Quand ces enroulements sont en série la résistance totale restant la même, c'est un courant i qui passe dans chaque spire. Le nombre d'ampères-tours du cadre mobile passe donc de 1 à 2 de l'une à l'autre expérience et par suite aussi le couple directeur.

Il sera facile de tenir compte de cette variation de la constante de l'instrument.

On peut pourtant s'arranger de façon que cette constante reste la même.

Pour cela, on disposera le circuit à gros fil, dit circuit série du wattmètre, en deux enroulements pouvant être mis également en série ou en parallèle. Pour un courant principal I , le nombre d'ampères-tours sera NI pour les circuits en série, N étant le nombre total des spires. Ce nombre d'ampères-tours du circuit à gros fil passera à $\frac{NI}{2}$ lorsque les deux enroulements seront en parallèle, pour le même courant principal I .

On procédera alors de la façon suivante :

1° Expérience : les deux enroulements du circuit à fil fin sont en parallèle, les deux enroulements du circuit à gros fil sont en série. On lit P_1 et l'on a :

$$(10) \quad P_v = \frac{P_1}{1 + x},$$

2° Expérience ; les deux enroulements du circuit à fil fin sont en série, les deux enroulements du circuit à gros fil sont en parallèle. On lit P_2 et l'on a :

$$(11) \quad P_v = \frac{P_2}{1 + 4x},$$

(*) *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 10 avril 1922, t. CLXXIV, p. 1007.

d'où

$$(12) \quad P_v = \frac{4P_1 - P_2}{3}.$$

Les deux constantes étant restées les mêmes, il suffit de prendre le tiers de la différence entre 4 fois la première lecture et une fois la seconde.

Enfin, on peut remarquer que, dans les cas normaux où le facteur de puissance des circuits d'utilisation est assez élevé ($\cos \phi = 0,5$ et plus), la correction est négligeable. Mais, même dans ce cas, le dispositif des deux enroulements du circuit à fil fin qui peuvent être mis en parallèle ou en série est encore utile. Ce dispositif permet, en effet, quatre combinaisons qui accroissent les limites d'emploi de l'instrument.

Enfin, les dispositifs précédents permettent de faire exactement la correction quand elle est nécessaire ; on n'a donc plus à craindre l'importance du facteur de correction ; on peut, dès lors, employer des circuits mobiles portant plus de spires, donnant par suite des couples plus grands et réaliser ainsi des appareils plus robustes et plus sensibles.

Par exemple, on réalise couramment des appareils où l est de l'ordre de 0,009 henry (soit 0,01) et marchant avec une résistance totale de 4000 ohms sous 110 v. Même en décuplant cette valeur de la self-induction, ce qui multiplierait par $\sqrt{10}$ la valeur du couple, toutes choses égales d'ailleurs, pour la fréquence 50 p/s, $\tan \phi$ serait inférieur à $\frac{1}{16000}$ et, par suite, négligeable devant l'unité.

Ces dispositifs permettront, enfin, l'emploi des wattmètres à des fréquences plus élevées que les fréquences industrielles courantes.

Comme le dispositif de Duddell et Mather rappelé plus haut, ce procédé permet la détermination de x et, par suite, de l'angle de phase ϕ par sa tangente.

3° J'avais indiqué une méthode indépendante des précédentes permettant la détermination de la puissance dans les cas où le facteur de puissance a une faible valeur ; cette méthode consiste à doubler le circuit très inductif en essai, que j'appellerai A, par un autre circuit non inductif, que j'appellerai B, mis en parallèle avec le premier et convenablement choisi de façon que, les deux circuits étant en parallèle, le facteur de puissance de l'ensemble devienne égal à 0,5 au moins. Dans ces conditions le facteur de correction devient tout à fait négligeable.

On procéderait alors ainsi : on fait une première mesure avec A et B en parallèle ; le wattmètre donne une première lecture correcte. On fait ensuite une deuxième lecture avec B seul, sous une tension ramenée rigoureusement à la même valeur par un dispositif de réglage assez fin.

Cette seconde lecture donne encore correctement la puissance absorbée par B seul. On aura donc par différence la puissance absorbée par A.

On remarque enfin, que, la puissance absorbée par le circuit à fil fin du wattmètre (montage aval) et celle

absorbée par le voltmètre placée aux bornes de l'appareil d'utilisation s'éliminent par différence.

Cette méthode est loin d'avoir le caractère de généralité que j'avais cru.

Elle est la seule possible lorsque, comme c'est souvent le cas dans la pratique, les wattmètres sont mal gradués dans le voisinage du zéro, car les puissances à mesurer dans le cas de très forts déphasages sont souvent d'une valeur faible.

D'autre part, comme il a été dit, les corrections de la consommation du circuit à fil fin du wattmètre et de la consommation du voltmètre sont ici rigoureuses car elles s'éliminent par différence. Or, en particulier, la consommation du voltmètre peut être de l'ordre de la puissance à mesurer, et, si l'on voulait en tenir compte dans une mesure directe, on pourrait avoir des erreurs relatives importantes.

Mais, si l'on cherche les conditions optima d'une mesure de puissance en courant alternatif, on s'aperçoit qu'il n'y en a pas (en ne parlant ici que des erreurs systématiques et non des erreurs de lecture ou de graduation).

En effet, si l'on prend la formule ordinaire bien connue indiquée plus haut, $\operatorname{tg}^2 \varphi$ étant toujours négligeable devant l'unité, on peut écrire avec une approximation toujours très grande

$$(13) \quad P_v = \frac{P_l}{1 + \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \Phi},$$

d'où l'on tire

$$(14) \quad P_l = P_v + P_v \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \Phi,$$

ou encore

$$(15) \quad P_l - P_v = P_v \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \Phi.$$

Par conséquent, l'erreur absolue commise, en prenant la puissance lue pour la puissance vraie, est égale à

$$(16) \quad P_v \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \Phi,$$

c'est-à-dire à

$$(16) \quad P_v \operatorname{tg} \varphi \frac{\sin \Phi}{\cos \Phi} = P_v \operatorname{tg} \varphi \frac{UI \sin \Phi}{UI \cos \Phi},$$

en appelant U la valeur efficace de la différence de potentiel et I la valeur efficace du courant dans un circuit d'utilisation quelconque, si compliqué qu'il soit.

Or

$$P_v = UI \cos \Phi,$$

donc : l'erreur absolue E_a est donnée par

$$(18) \quad E_a = \operatorname{tg} \varphi UI \sin \Phi.$$

L'erreur absolue, pour un wattmètre donné, est donc proportionnelle à $UI \sin \Phi$ c'est-à-dire à la puissance magnétisante.

Tant que la puissance magnétisante restera constante dans un circuit, on aura beau le compliquer par des circuits non inductifs, l'erreur absolue restera la même et par suite aussi l'erreur relative.

Cette remarque indique la voie dans laquelle il faudrait chercher pour améliorer la mesure en suivant cette méthode : diminuer la puissance magnétisante absorbée par l'emploi des moyens classiques bien connus, suivant le signe de Φ .

C'est là une conséquence nouvelle du célèbre et très important théorème formulé par Boucherot sur la conservation de la puissance magnétisante dans un réseau. Ce théorème a déjà reçu de très nombreuses applications de son auteur.

En voici un corollaire :

L'erreur systématique d'un wattmètre utilisé pour la mesure de la puissance absorbée par un circuit est proportionnelle à la puissance magnétisante de ce circuit, le coefficient de proportionnalité, $\operatorname{tg} \varphi$, ne dépendant que du wattmètre.

H. CHAUMAT.

Revue, analyses et informations

Equations simples relatives au fonctionnement des lampes ⁽¹⁾.

Le terme *fonctionnement des lampes* désigne ici la manière dont sont liées entre elles, dans les lampes à incandescence, les grandeurs fondamentales suivantes : la tension v , l'intensité lumineuse c , la puissance totale w , la puissance par bougie (improprement appelée le rendement) e , la résistance r et l'intensité i .

Ce sont la tension v , l'intensité lumineuse c , et les watts par bougie e qui ont la plus grande importance dans la pratique. L'auteur ne s'occupe ici que des relations rendement-

tension et tension-intensité lumineuse, et pour les lampes au tungstène dans le vide seulement. Il se propose d'établir des équations simples pour ces relations. Les questions à résoudre sont caractérisées par l'exemple suivant : une certaine lampe, alimentée sous la tension v_1 , brûle avec un rendement e_1 , en donnant une intensité lumineuse de c_1 bougies ; calculer la tension v_2 qui fera brûler cette lampe avec un rendement e_2 et la tension v'_2 qui lui fera émettre c_2 bougies.

De précédents essais pour trouver l'équation du fonctionnement des lampes ont conduit aux relations exponentielles

$$\frac{e_1}{e_2} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^b \quad \text{et} \quad \frac{c_1}{c_2} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k, \quad (1)$$

⁽¹⁾ H.-E. EISENMENGER, *Journal of the A. I. E. E.*, décembre 1921, t. XL, p. 905-912, 6 500 mots, 7 fig., 2 tab.

où g et k sont des constantes. Il était spécifié que ces équations n'étaient vraies que si les variables ne s'écartaient que très peu de leurs *valeurs normales*. (Les *valeurs normales* sont celles qui correspondent à une certaine valeur type e_0 du rendement, généralement un watt par bougie.)

On fut conduit ensuite à rendre variables les exposants des équations (1) et à les faire dépendre de la valeur du rendement e par rapport à un certain rendement type e_0 . Cela rendit nécessaire d'effectuer chaque opération en deux phases : 1° réduire au rendement normal (rendement unité) ou aux valeurs correspondantes des autres quantités fondamentales ; 2° réduire de la valeur normale à la valeur cherchée. Si l'on donne par exemple v_1 et e_1 et si la question est : Quelle tension faut-il appliquer pour que la lampe brûle au rendement e_2 ? Nous aurons d'abord à trouver la tension normale de la lampe, autrement dit la tension qui fera brûler la lampe au rendement normal $e_0 = 1$, en employant la formule

$$\frac{e_1}{e_0} = \left(\frac{v_0}{v_1} \right)^{g_1}.$$

La valeur de v_1 se tirera d'une table empirique ou d'une courbe, comme fonction de e_1 (voir tab. I). On trouve ainsi la tension normale e_0 . La seconde opération consiste à réduire de v_0 à v_2 au moyen de l'équation

$$\frac{e_2}{e_0} = \left(\frac{v_0}{v_2} \right)^{g_2},$$

où la valeur de g_2 sera tirée d'une table et sera différente de g_1 .

TABLEAU I. — (Lampes Mazda).

| TENSION pour 100 | INTENSITÉ LUMINEUSE pour 100 | e (watts: bougie) | g |
|---------------------|------------------------------------|------------------------|-------|
| 87,30 | 61,57 | 1,310 | 1,990 |
| 90,06 | 68,90 | 1,230 | 1,977 |
| 95,24 | 84,17 | 1,100 | 1,955 |
| 100,00 | 100,00 | 1,000 | 1,935 |
| 105,66 | 121,20 | 0,900 | 1,913 |
| 110,33 | 140,70 | 0,830 | 1,895 |
| 115,75 | 165,73 | 0,760 | 1,876 |
| 120,20 | 188,29 | 0,710 | 1,862 |

Cette méthode a deux inconvénients. D'abord il n'y a pas, en réalité, réduction de la courbe empirique à une formule mathématique ; on réduit seulement la courbe à une autre courbe empirique, la courbe g , au moyen d'une formule mathématique. (L'avantage de réduire la courbe primitive à la courbe g réside dans le fait que l'emploi de la dernière fait disparaître plus complètement les petites irrégularités inhérentes à toute courbe basée sur des observations). La seconde objection, plus sérieuse, est que cette méthode rend le calcul assez long et fastidieux, puisqu'il faut toujours déterminer la tension normale (ou l'intensité lumineuse normale, suivant les cas) quoiqu'on n'ait pas intérêt à la connaître.

L'auteur a cherché à établir des formules d'abord pour les deux plus importantes relations (entre la tension et le rendement, d'une part, et entre la tension et l'intensité lumineuse, d'autre part) qui donnent une solution rapide et directe avec une exactitude suffisante, sans emploi de tables

ni de courbes, et sans qu'il soit besoin de calculer la *valeur normale*.

L'exactitude des mesures photométriques, même en les faisant relever par deux observateurs et en prenant la moyenne, ne dépasse pas 0,5 à 1 pour 100. La formule représentant la courbe entachée de ces erreurs n'a donc pas besoin d'être exacte à moins de 0,5 pour 100 près. D'autre part, on a fait en sorte que la formule présente cette exactitude pour des valeurs du rendement comprises entre 0,70 et 1,30 watts par bougie, ce qui suffit dans la pratique pour les lampes au tungstène dans le vide.

RÉSULTATS : 1° RENDEMENT-TENSION. — L'équation de relation entre le rendement et la tension est

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{e_1 - 0,1700}{e_2 - 0,1700} \right)^{0,428}, \quad (2)$$

ou, si l'on donne les tensions et l'un des rendements e_1

$$e_2 - 0,17 = (e_1 - 0,17) \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{2,336}. \quad (3)$$

Les exposants étant constants, les tensions n'entrent dans ces équations que par leur rapport mutuel ; il n'importe donc plus qu'on introduise les tensions sous forme de taux pour 100 de la tension normale (inconnue), ou qu'on la mesure en une autre unité, par exemple en volts. La figure 1 représente les erreurs résultant de l'application de

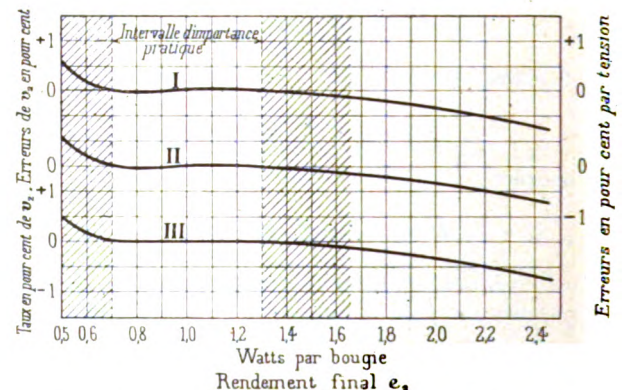


Fig. 1. — Courbes d'erreur de la relation (2) entre le rendement et la tension.

cette formule. Pour obtenir les erreurs portées dans cette figure et dans les courbes suivantes, on a admis que les valeurs données dans le tableau I sont absolument exactes. Les chiffres de ce tableau sont les valeurs moyennes tirées d'un grand nombre d'observations faites sur un grand nombre de lampes.

La courbe supérieure de la figure 1 a trait au rendement $e_1 = 0,71$, c'est-à-dire aux réductions du rendement $e_1 = 0,71$ à tout autre rendement e_2 porté en abscisses ; la seconde courbe a trait à $e_1 = 1,00$, c'est-à-dire aux réductions du rendement 1,00 w par bougie à un autre rendement e_2 , et la troisième courbe a trait à $e_1 = 1,31$ watt par bougie. Dans chaque cas, les erreurs sont plus faibles qu'il n'a été jugé nécessaire, même si l'on adopte des limites bien plus écartées que 0,70 et 1,30 watt par bougie.

Exemple de l'emploi de cette formule. — Une lampe brûle à 1,31 w par bougie sous 110 v ; à quelle valeur faut-il

élever la tension pour que la lampe brûle à 0,80 w par bougie ?

$$\begin{aligned} e_1 &= 1,31 \text{ watt : bougie, } v_1 = 110 \text{ v,} \\ e_2 &= 0,80 \text{ id } v_2 = ? \\ v_2 &= \left(\frac{e_1 - 0,17}{e_2 - 0,17} \right)^{0,428} = \left(\frac{1,14}{0,63} \right)^{0,428} = 1,2890, \\ v_2 &= 1,2890 \times v_1 = 141,79 \text{ v.} \end{aligned}$$

Si l'on se contente d'une exactitude un peu moindre, on peut adopter une formule plus simple

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{e_1}{e_2} \times \frac{e_2 + 1}{e_1 + 1}. \quad (2B)$$

La figure (2) représente les courbes d'erreur de cette formule pour $e_1 = 0,71$, $e_1 = 1,00$ et $e_1 = 1,31$. On peut obtenir

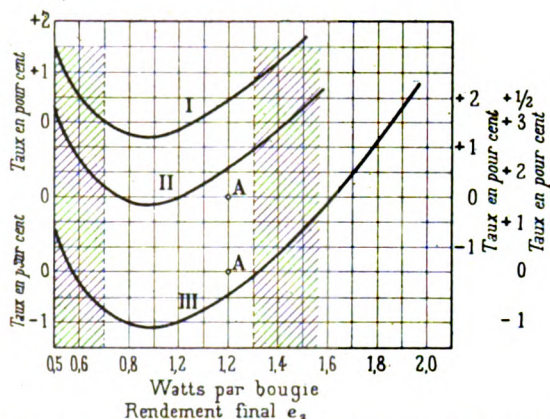


Fig. 2. — Courbes d'erreur de l'équation simplifiée (2 B) de la relation entre le rendement et la tension

nir facilement par interpolation d'autres courbes d'erreur pour d'autres rendements initiaux en traçant des lignes parallèles aux courbes et passant par les points respectifs de l'axe zéro, par exemple, par les points A si l'on veut la courbe d'erreur pour $e_1 = 1,20$. Les courbes montrent que les erreurs sont suffisamment faibles pour les calculs courants, car nulle part elles ne dépassent sensiblement 1 pour 100.

Exemple. — Une lampe brûle au rendement $e_1 = 1,25$ watt par bougie sous la tension $v_1 = 120$ v ; à quelle valeur faut-il élever la tension pour que la lampe brûle au rendement $e_2 = 0,8$ watt par bougie ?

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1,25}{0,8} \times \frac{1,8}{2,25},$$

d'où

$$v_2 = 150 \text{ v.}$$

La solution exacte d'après le tableau I serait 151,17, ou 0,78 pour 100 plus grande. Ceci est d'accord avec les courbes d'erreur de la figure 2.

2° TENSION-INTENSITÉ LUMINEUSE. — La nature de ce problème est un peu plus complexe que celle du précédent. Examinons en effet un exemple. Soit à résoudre la question suivante : Si une lampe donne $c_1 = 100$ bougies à $v_1 = 110$ v, combien de bougies c_2 donnera-t-elle à $v_2 = 125$ v ? Ce problème est indéterminé. La lampe peut être très forte et donner les 100 bougies à 110 v avec une lueur plus ou moins rouge, ou, au contraire, ce peut être une petite lampe brûlant avec

un grand éclat sous 110 v. On peut s'attendre à ce que la variation de tension de 110 à 125 v affecte l'intensité lumineuse différemment dans les deux lampes. Même sans prendre des cas si extrêmes, on peut prouver au moyen du tableau I que le problème est indéterminé. En effet, supposons d'abord que la lampe en question donne les 100 bougies à $v_1 = 110$ v avec un rendement de 0,90 watt : bougie. Ce rendement e_1 , correspondant à c_1 et v_1 , sera appelé *rendement initial*. D'après le tableau I watt : on trouve que la tension correspondant à 0,90 watt est 105,66 pour 100 de la normale ; la tension normale est donc

$$\frac{110}{1,0566} = 104,107 \text{ v.}$$

L'intensité lumineuse à 0,90 watt : bougie est, d'après le tableau, 121,20 pour 100 de l'intensité normale, de sorte que l'intensité lumineuse normale de la lampe en question est

$$\frac{100}{1,2120} = 82,508 \text{ bougies.}$$

Élever la tension à 125 v, c'est donc l'élever de

$$\frac{125}{104,107} = 120,07 \text{ pour 100}$$

de la tension normale, et ce taux pour 100 de survoltage correspond d'après le tableau I (interpolation) à 187,62 pour 100 de l'intensité lumineuse normale (82,508 bougies) ou 154,80 bougies. La lampe émettra donc 154,80 bougies à 125 v. (Le rendement secondaire e_2 serait 0,711 watt : bougie, il est donc compris dans l'intervalle de 0,7 à 1,3 watt : bougie qu'on s'est fixé).

On trouvera de la même manière que, si le rendement initial était par exemple de 1,31 watt : bougie au lieu de 0,90, l'intensité lumineuse serait, à 125 v, 158,12 bougies, soit 2,15 pour 100 plus grande que dans le premier cas.

Cette différence n'est pas très grande et peut se négliger pour des calculs approximatifs. Cependant, si l'on veut soit restreindre les erreurs d'intensité lumineuse aux limites $\pm 0,5$ pour 100 soit sortir des limites fixées pour le rendement, c'est-à-dire 0,70 et 1,30 watt : bougie, l'énoncé du problème doit toujours faire mention du rendement initial et, cette grandeur doit figurer dans toute formule de relation entre tension et intensité lumineuse. Il n'est pas nécessaire, cependant, que le rendement initial soit connu avec une grande exactitude ; ainsi que le montre l'exemple, l'influence de sa valeur est très limitée ; on pourrait même se contenter au besoin de l'évaluer à la vue d'après l'éclat du filament.

La formule trouvée pour la relation entre tension et intensité lumineuse est la suivante

$$\frac{c_2}{c_1} = \left[\frac{v_2 - (0,190 + 0,1 \epsilon_1)}{0,810 - 0,1 \epsilon_1} \right]^{2,834}, \quad (4)$$

ou, en résolvant par rapport à $\frac{v_2}{v_1}$,

$$\frac{v_2}{v_1} = (0,810 - 0,1 \epsilon_1) \left(\frac{c_2}{c_1} \right)^{0,3529} + (0,19 + 0,1 \epsilon_1), \quad (5)$$

où $\epsilon_1 = e_1 - 1$ si e_1 est le rendement initial ; ϵ_1 peut donc avoir une valeur positive, nulle ou négative.

La figure 3 représente les courbes d'erreur de l'équation (4) pour les trois consommations spécifiques initiales 0,71, 1,00 et 1,31. On y remarque, aussi bien que dans la figure 1, comme les courbes d'erreur se resserrent vers l'axe des abscisses dans l'intervalle pour lequel on a cherché une grande exactitude

dans l'établissement des équations, c'est-à-dire dans l'intervalle compris entre les rendements 0,70 et 1,30 watt par bougie.

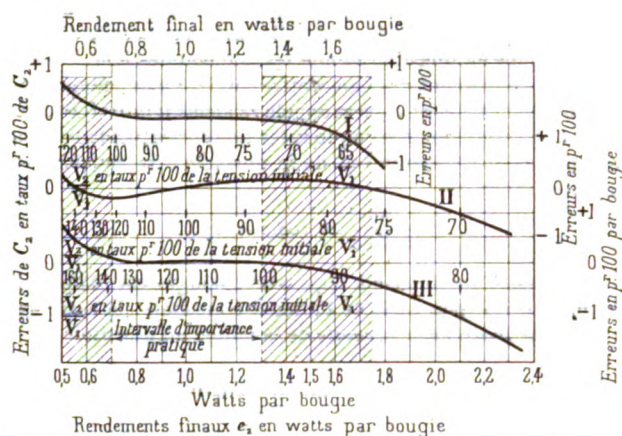


Fig. 3. — Courbes d'erreur de la relation (4) entre la tension et l'intensité lumineuse.

gie. L'auteur expose, dans la dernière partie de son article, la méthode qu'il a suivie pour obtenir les équations (2) et (4).

P. L.

Rayons X mous caractéristiques émis par l'arc éclatant dans les gaz et les vapeurs ⁽¹⁾.

Le présent travail est relatif à la mesure des chutes de potentiel nécessaires pour exciter des types successifs de rayons dans les gaz et les vapeurs par impacts d'électrons. Une connaissance des conditions physiques suivant lesquelles diverses sortes de rayons peuvent être excités présente un grand intérêt au point de vue des différentes théories de la structure atomique, et est essentielle pour le développement rationnel de certains problèmes techniques d'importance immédiate.

Les transformations d'énergie qui apparaissent dans une collision d'électrons sont les suivantes : l'énergie cinétique $\frac{1}{2}mv^2$ de l'électron considéré est égale à Ve , où V est la chute de potentiel subie par l'électron. A un potentiel supérieur au premier point d'ionisation, une collision avec un atome peut provoquer l'émission d'un électron par l'atome, aux dépens de cette énergie cinétique, consommée en totalité ou en partie. L'ion positif ainsi formé, par recombinaison avec un autre électron, émettra des rayons de fréquences ν_n , liée à l'énergie E nécessaire pour l'expulsion de l'électron par la relation

$$E = \Sigma h \nu_1 + \nu_2 + \nu_3 + \dots$$

La fréquence ν la plus élevée possible est telle que $h\nu = E$. Le potentiel minimum V nécessaire pour l'expulsion d'un électron par collision et la fréquence limite ν du rayonnement résultant sont ainsi proportionnels. On a

$$Ve = h\nu \quad \text{ou} \quad \lambda = \frac{12345}{V},$$

λ étant comptée en angströms et V , en volts.

On a trouvé que la limite ν est la fréquence de convergence d'une série de lignes d'absorption, dans tous les cas où les relations de séries sont connues, et dans les spectres de rayons X elle définit le bord d'une bande d'absorption. Ainsi, soit par mesure spectroscopique de la fréquence

limite de différents types de rayons, soit par mesure du potentiel minimum nécessaire pour exciter le rayonnement, on peut déterminer les niveaux d'énergie des diverses configurations atomiques.

On observe les types successifs suivants de collisions électroniques : au-dessus du premier potentiel d'ionisation, un électron de valence peut être expulsé et le spectre d'arc est émis par recombinaison ; à des potentiels de plus en plus élevés, deux électrons ou plus peuvent être expulsés, avec émission subséquente des spectres d'étincelle du premier ordre, ou d'ordre plus élevé.

On désigne par K l'orbite électronique de l'atome la plus voisine du noyau. A l'extérieur, on rencontre successivement les orbites L, M, N, ... de diamètres croissants. L'expulsion de l'un de ces électrons donne naissance à l'émission subséquente de spectres de rayons X. Si l'enlèvement est produit à partir de l'orbite K, différentes lignes de la série K sont émises, lorsque l'électron lancé retourne à sa position d'équilibre ; de même pour les autres anneaux.

On n'a encore peu étudié les émissions de rayons X par les orbites extérieures, en partie du fait de difficultés expérimentales. Le domaine spectral qui s'étend de $\lambda = 0,1$ à $\lambda = 12 \text{ \AA}$, ou de 100 000 à 1 000 v, a été étudié par la méthode du spectromètre à cristaux. D'autre part, le domaine étudié par les réseaux est arrivé avec difficulté au-dessous de 200 \AA et, pratiquement, il est même difficile de descendre au-dessous de 1200 \AA . Or c'est précisément dans ce domaine difficile à explorer, qui s'étend de 1200 à 12 \AA , et par conséquent de 10 à 1 000 v, que se produit l'émission de rayons X par les orbites extérieures, et probablement aussi la plus grande partie des spectres d'étincelle.

Divers auteurs ont montré qu'on peut suppléer à l'insuffisance des méthodes spectroscopiques dans cette région par la mesure des potentiels nécessaires pour provoquer l'émission de ces radiations, et par des procédés de mesures purement électriques.

Une difficulté évidente dans la mesure des potentiels d'excitation des rayons X par une décharge produite dans un gaz est que le rayonnement X est superposé aux spectres d'arc et d'étincelle. Il n'en serait pas de même si les rayons X mous étaient obtenus à partir de corps solides, comme cela se produit dans les tubes à rayons X ordinaires. Mais ce procédé, essayé à maintes reprises, avait jusqu'à présent échoué. Les auteurs ont cependant réussi, au prix de grandes difficultés, quelques essais dans cette direction. Ils ont trouvé, du reste, que, dans le travail avec les gaz et les vapeurs, la superposition des spectres d'arc et d'étincelle ne marque pas, en se plaçant dans des conditions convenables, les plus hauts potentiels de rayonnement.

Dans ce travail, on a donc mesuré les potentiels nécessaires pour exciter des types successifs de rayons dans un arc de Wehnelt à basse pression ; dans ce but, on observait l'effet photoélectrique du rayonnement de l'arc sur d'autres électrodes placées dans le même tube. On a déterminé les potentiels critiques de rayonnement pour 11 gaz et vapeurs entre 17 et 500 v. Les fréquences spectrales limites correspondantes, s'étendant de 700 à 25 \AA , comprennent les rayons X caractéristiques les plus mous, pour tous les éléments considérés. On a pu mesurer les potentiels critiques qui correspondent à la limite de la série principale L pour le sodium, le magnésium, le phosphore, le soufre et le chlore. On a en outre découvert, pour ces éléments, une limite L plus faible et à plus grande longueur d'onde. On a pu identifier les limites de la série K du carbone, de l'azote et de l'oxygène, les limites à grande longueur d'onde de la série M du potassium. Des mesures de rayonnement de quatre composés du carbone ont donné des résultats identiques pour la limite K du carbone.

Des expériences faites avec les radiations des corps solides indiquent l'existence de rayons X mous caractéristiques, sans radiation générale mesurable dans les meilleures conditions. Le nickel manifeste un départ du rayonnement pour 80 v. — L. B.

⁽¹⁾ F.-L. MÖHLER et P.-D. FOOTE. *Scientific Papers of the Bureau of Standards*, 17 décembre 1921, n° 425, p. 471-496, 7 500 mots, 10 fig.

SECTION INDUSTRIELLE

L'Usine hydroélectrique de Beaumont-Monteux

Description générale des installations

Cette usine, située près du confluent de l'Isère et du Rhône, a été mise en service partiellement à la fin de 1921. Elle appartient à la Société L'Energie électrique de la Basse-Isère et a pour objet principal la fourniture de l'énergie aux réseaux de distribution de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre ainsi qu'aux usines de la Compagnie des Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt à Saint-Chamond. Dans l'article ci-dessous est donnée une description générale de l'usine et de ses dépendances. Un article, qui paraîtra dans le prochain numéro, sera spécialement consacré aux installations électriques. Dans un troisième article, dont la date de publication ne saurait être encore précisée, sera décrite la ligne de transmission reliant l'usine à Saint-Etienne et à Saint-Chamond. Nous remercions M. Auric, directeur de l'Energie électrique de la Basse-Isère, des renseignements qu'il a bien voulu nous donner sur ce sujet.

Situation. — L'usine de Beaumont-Monteux, qui a été mise en service à la fin de l'année dernière, tire son nom du village près duquel elle est édifiée, village situé sur l'Isère, à 7 km du confluent de cette rivière avec le Rhône et à une dizaine de kilomètres de Valence (Drôme). La figure 1 donne une vue d'ensemble de cette usine et de ses dépendances immédiates.

Sa construction a été prévue pour la production d'une puissance de 28 000 kw, fournie par une chute de 10 m obtenue par un barrage établi en travers de l'Isère à 1 600 m en amont de l'usine. La plus grande partie de cette puissance est destinée à être transmise à Saint-Etienne par une ligne à 120 000 v dont la mise en service ne saurait tarder. La figure 2 montre les emplacements respec-

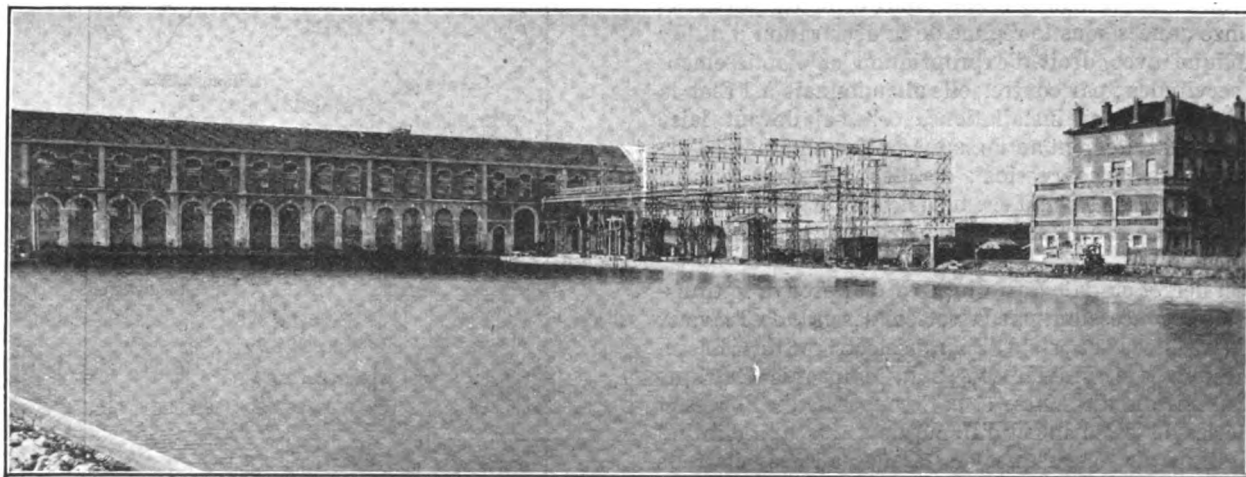


Fig. 1. — Vue d'ensemble, prise d'aval, de l'usine de Beaumont-Monteux, du poste de transformation et de l'habitation du chef de l'usine.

tifs du barrage et de l'usine ; la figure 3 donne le tracé de la ligne réunissant cette usine à Saint-Etienne.

Avant de passer à la description des diverses installations, il convient de dire quelques mots sur les conditions dans lesquelles elles ont été réalisées.

Historique. — L'idée de capter la force motrice des eaux du cours inférieur de l'Isère remonte à près de

vingt-trois ans : c'est en effet le 29 août 1899 que fut déposée la demande de concession par la Société des grands Travaux de Marseille. Mais ce ne fut que quinze ans après que, par décret du 25 octobre 1914, cette concession fut accordée.

Au moment de la demande, le régime des usines établies sur les cours d'eau du domaine public était fixé par la loi du 8 avril 1898, d'après laquelle les usines de

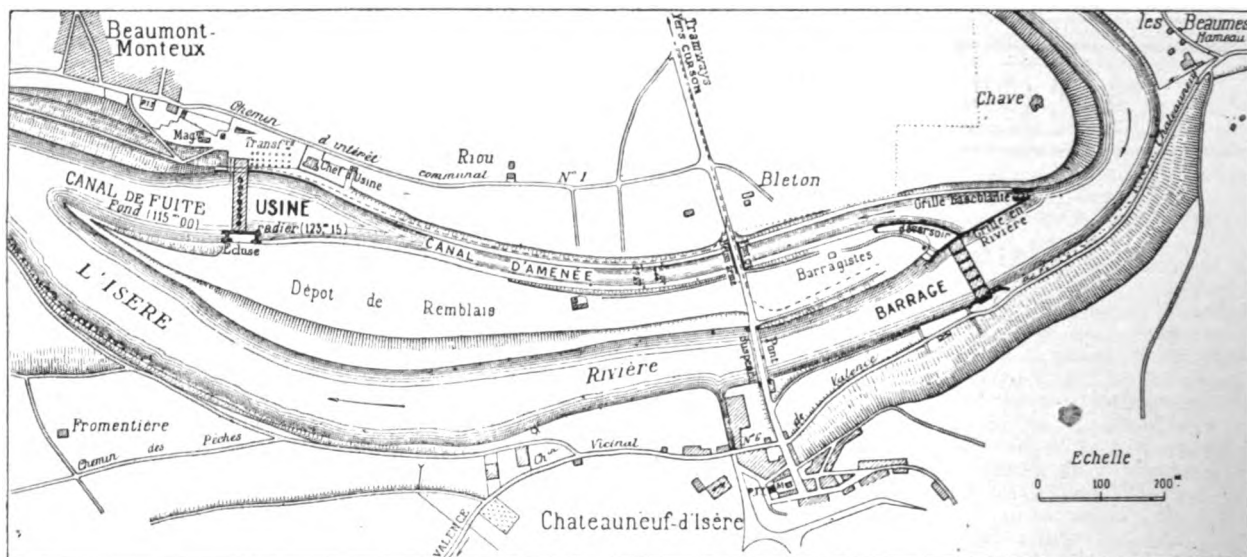


Fig. 2. — Plan d'ensemble des installations.

cette catégorie ne jouissaient que d'une simple autorisation de prise d'eau, précaire et révocable. Lorsqu'intervint le décret du 25 octobre 1914, certaines des dispositions qui devaient figurer dans la loi du 16 octobre 1918 avaient été mises au point par les services du Ministère des Travaux publics et furent introduites dans le décret. C'est ainsi que, au lieu d'obtenir une simple permission d'eau, la Société des grands Travaux de Marseille bénéficia d'une concession de soixante-quinze années sous le régime de la déclaration d'utilité publique avec droit d'expropriation et établissement de servitudes; par contre, elle abandonnait à l'Etat la propriété de ses installations, celles-ci devant faire retour gratuitement au domaine public national à l'expiration de la concession; de plus elle était tenue à faire participer l'Etat à ses bénéfices et à consentir des tarifs spéciaux à l'Etat, aux départements et aux communes.

Un décret en date du 12 juin 1916 approuva le transfert de la concession, par la Société des grands Travaux de Marseille, à la Société l'Energie électrique de la Basse-Isère, fondée le 7 janvier 1914 par la Compagnie électrique de la Loire et du Centre et la Compagnie des Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt. Le capital initial de l'Energie électrique de la Basse-Isère était de 2 500 000 fr; il a été porté à 12 000 000 fr par décisions des assemblées générales de cette société des 14 et 27 mars 1916, puis à 18 000 000 fr par décisions des assemblées générales des 26 août et 18 octobre 1919. Les assemblées générales de 1916 ont, en outre, autorisé l'émission de 12 000 000 fr de bons 6 pour 100, garantis par la Compagnie des Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt et la Compagnie électrique de la Loire et du Centre; une émission de 27 000 000 fr d'obligations 5 pour 100 garantie par les mêmes compagnies, a été autorisée par les assemblées générales des 29 avril et 26 août 1919.

L'Energie électrique de la Basse-Isère a confié l'entreprise générale de son usine à un consortium d'entrepreneurs formé par la Société des grands Travaux de Marseille, la Société générale d'Entreprises, la Maison Fougerolles frères, la Compagnie d'Entreprises hydrau-

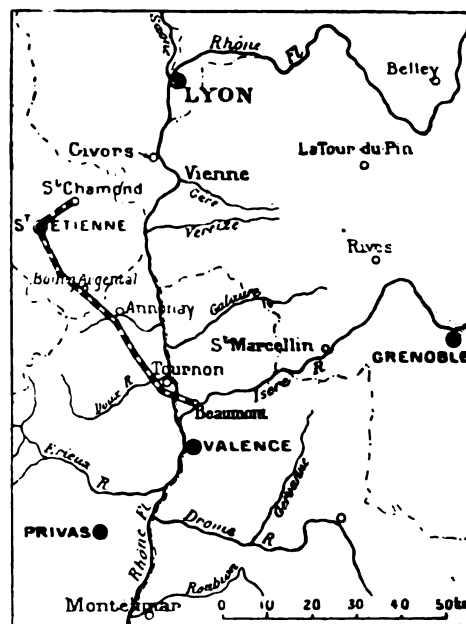


Fig. 3. — Tracé de la ligne de transmission d'énergie de Beaumont-Monteux à Saint-Etienne.

liques et de Travaux publics, et géré par la Société des grands Travaux de Marseille. L'ensemble des études a été fait par ce consortium, qui a exécuté lui-même tous les travaux de génie civil. Les vannes du barrage et leur outillage ont été fournis par les maisons Leflaive

et C^{ie}, Bouchayer et Viallet, Neyret-Beylier: les turbines hydrauliques et leurs accessoires, par les Ateliers

Neyret-Beylier et Piccard-Pictet; les installations électriques, par la Compagnie française Thomson-Houston.

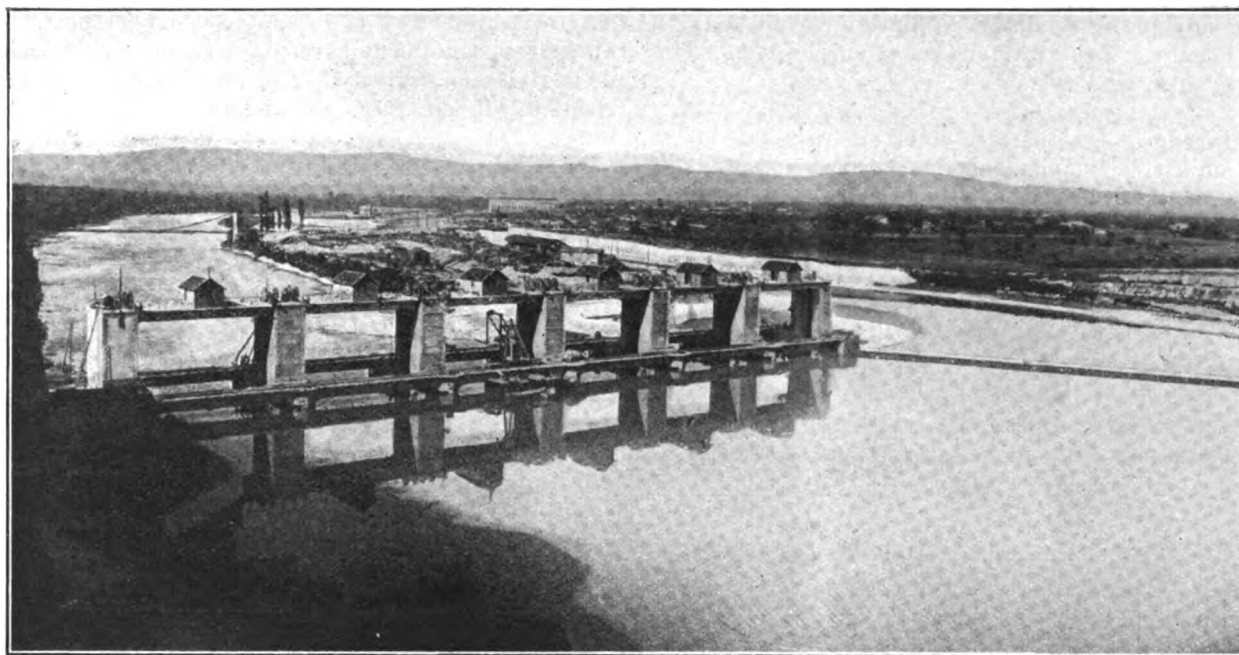


Fig. 4. — Vue d'ensemble, prise de l'amont, du barrage de l'usine de Beaumont-Monteux (au fond, vue de l'usine).

Les travaux ont été commencés fin 1916 et ont été achevés fin 1921; leur durée a donc été de cinq

ans. Cette durée s'explique, non seulement par l'importance des travaux, mais encore par les diffi-

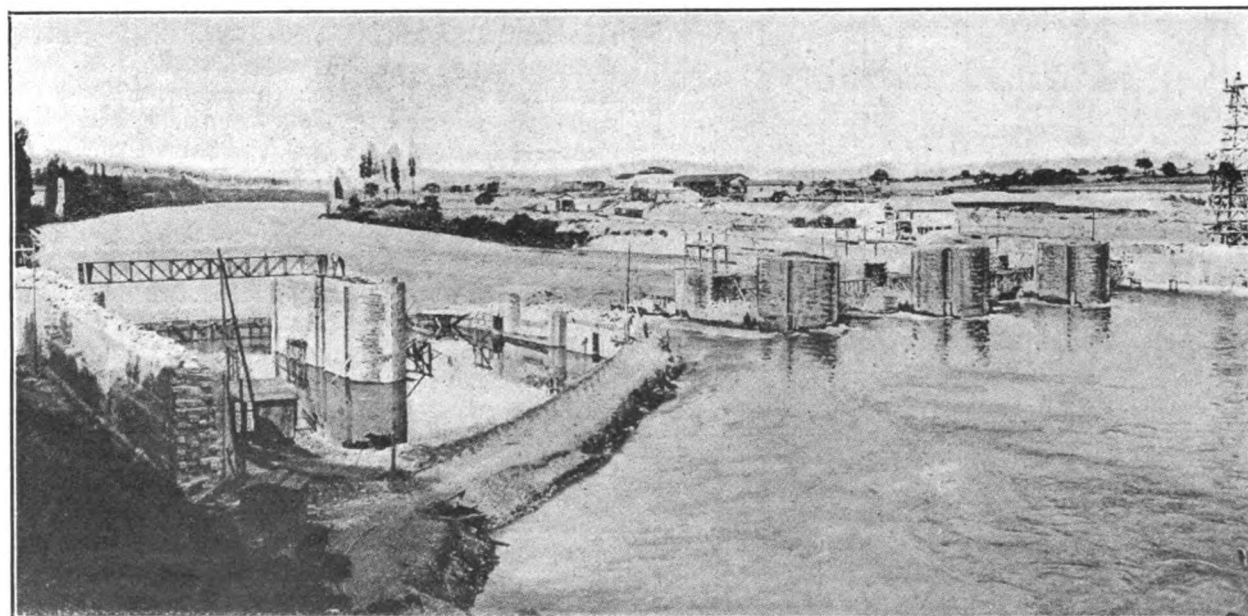


Fig. 5. — Vue du barrage pendant la construction des piles.

cultés de toute sorte occasionnées par la guerre. Nous avons dit que la plus grande partie de l'énergie

produite dans l'usine devait être transmise à Saint-Etienne et à Saint-Chamond par une ligne à 120 000 v. La

construction et l'exploitation de cette ligne a été concédée à l'Energie électrique de la Basse-Isère par une convention en date du 24 mars 1921. Un décret déclarant d'utilité publique cette entreprise fut pris le 29 juin 1921 ⁽¹⁾. A l'heure actuelle cette ligne est sur le point d'être mise en service.

Barrage. — Le barrage établi au travers de l'Isère est un barrage mobile d'une longueur de 134 m (fig. 4 et 5). Il est formé de deux piles culées de 4 m de largeur,

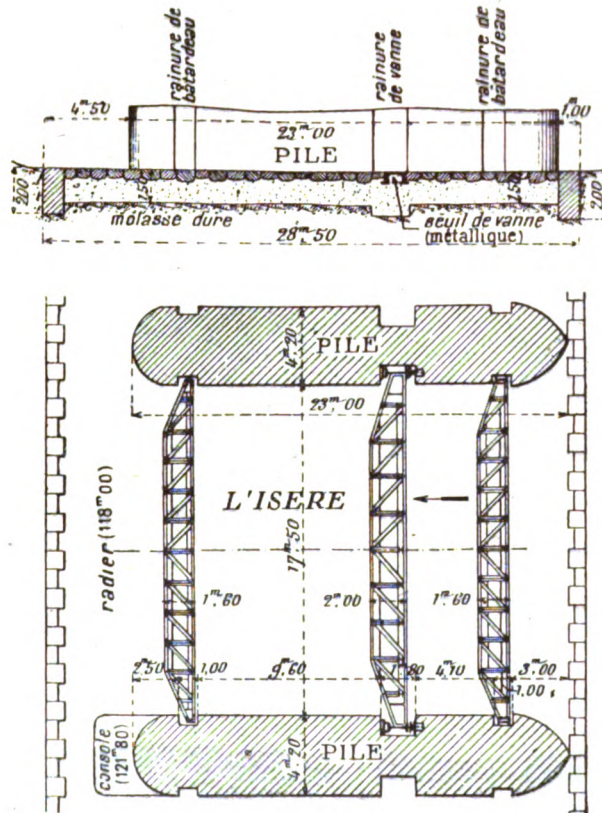


Fig. 6 et 7. — Coupes sur un pertuis du barrage montrant l'emplacement de la vanne et ceux des batardeaux.

de cinq piles intermédiaires de 4,20 m de largeur et de six pertuis de 17,50 m d'ouverture, fermés par des vannes du système Stoncy.

La retenue légale est fixée, par le décret de concession à la cote 128,00; le radier est à la cote 118,00, soit à 10 m au-dessous du niveau de la retenue. Lorsque les vannes qui ferment les pertuis sont entièrement baissées, leur tranche supérieure est à la cote 128,00; lorsqu'elles sont entièrement relevées, leur tranche inférieure est à

⁽¹⁾ Le texte de ce décret, ainsi que les textes de la convention et du cahier des charges qui y sont annexés, ont été reproduits dans la *Revue générale de l'Électricité* du 17 septembre 1921, t. X, p. 369-374. Ce cahier des charges a été l'objet d'un commentaire de M. P. Le Verrier, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, paru dans le même numéro, p. 361-365.

la cote 129,00, cote fixée par le décret de concession. Le calcul montre que, si le niveau de l'eau à l'aval du barrage montait à la cote 125,50, qui est celle des hautes eaux extraordinaires, le niveau à l'amont ne pourrait atteindre la cote 128 de la retenue légale que si le débit de la rivière arrivait à 4 320 m³/s, valeur bien supérieure à celles observées jusqu'ici lors des plus grandes crues.

Le radier du barrage est formé d'une couche de béton de ciment sur laquelle est un pavage en moellons de Ruoms (Ardèche) qui augmente sa résistance à l'effet d'érosion des chasses d'eau sous les vannes (fig. 6 et 7); son épaisseur est de 1,50.

Les piles ont une longueur de 23 m et une hauteur de 13 m au-dessus du radier; la largeur est, comme il est déjà dit plus haut, de 4 m pour les piles-culées et de 4,20 m pour les piles intermédiaires. Chacune de leurs faces porte trois rainures: une rainure pour la vanne et, de part et d'autre de celle-ci, une rainure destinée à maintenir un batardeau au cas où des réparations deviendraient nécessaires. Les piles d'ordre impair, 1, 3, 5, sont munies à l'aval d'une console en ciment armé de 4,20 m de large et de 2 m de saillie, arasée à la cote 121,80, en vue de l'installation des pompes d'épuisement. Deux passerelles en ciment armé, arasées à la cote 131, réunissent les extrémités des piles, à l'amont et à l'aval, pour le transport des batardeaux. Sur les piles sont édifiés des fûts de 7 m de longueur et de 10 m de hauteur, reliés par une autre passerelle en ciment armé, arasée à la cote 141, supportant les appareils de manœuvre des vannes.

Les vannes ont une hauteur de 10 m et une largeur de 18,77 m d'axe en axe des montants extrêmes. Elles reposent sur un seuil en fonte scellé dans le radier et prennent appui sur les piles par des trains de galets mobiles, se déplaçant entre un chemin de roulement fixe scellé dans la rainure de la pile et un chemin de roulement mobile fixé sur la vanne. L'étanchéité latérale des vannes est obtenue à l'aide d'une pièce de chêne, que la pression de l'eau applique fortement contre les ailes de deux guides d'étanchéité en fers à U, l'un fixe, scellé contre l'angle amont de la rainure, l'autre mobile, fixé vis-à-vis du précédent, sur la vanne. La partie supérieure des vannes est constituée par un volet déversoir de 1 m de hauteur, pivotant autour d'un axe horizontal inférieur (fig. 8); l'abaissement de ce volet permet, sans manœuvrer l'ensemble de la vanne, de laisser écouler une quantité d'eau correspondant à une diminution de charge momentanée de l'usine ou à une petite crue. Chaque vanne pèse environ 150 t.

Chaque vanne est commandée par un moteur électrique 38 ch, 220 v, 570 t/mn, situé dans l'axe du pertuis et accouplé à un réducteur de vitesse accouplé lui-même à un arbre de 18,40 m de longueur, soutenu par quatre paliers; à chaque extrémité de cet arbre se trouve un treuil de levage. L'arbre du moteur électrique peut être rendu solidaire, par un verrouillage, d'un harnais d'engrenages commandé par un volant à main et permettant la manœuvre des vannes en cas

d'arrêt du courant électrique. L'installation est complétée par : 1° un frein, réglable à l'aide d'un contrepoids, qui se desserre automatiquement par le jeu d'un électroaimant quand le courant passe dans le moteur et

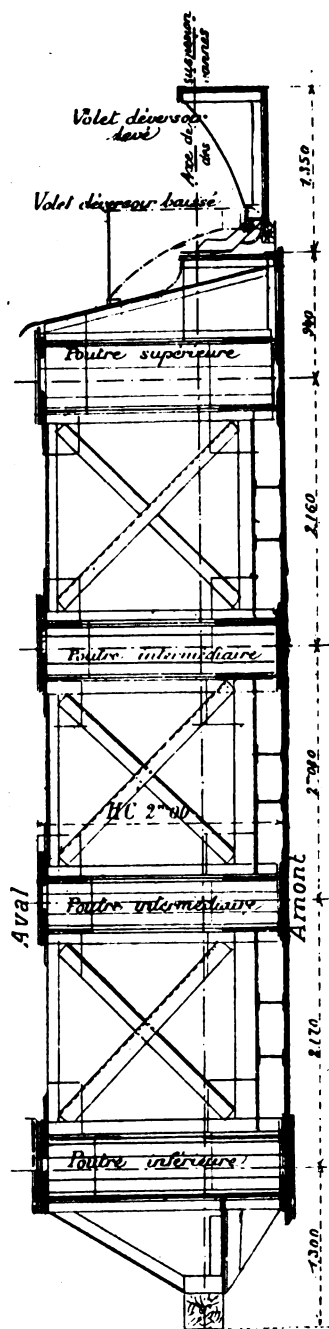


Fig. 8. — Coupe transversale d'une vanne.

qui freine dès que le courant cesse de passer ; 2° un interrupteur de fin de course qui coupe automatiquement le courant avant que la vanne, entièrement levée, ne vienne buter contre la passerelle ; 3° un indicateur faisant connaître la position de la vanne par rapport au

seuil ; 4° un tableau comportant interrupteur, coupe-circuits, ampèremètre, lampe-témoin et rhéostat de démarrage.

La manœuvre des volets-déversoirs de la partie supérieure des vannes s'effectue à l'aide de deux câbles attachés aux extrémités des volets et s'enroulant sur les tambours de deux treuils placés sur le bord amont de la passerelle supérieure. Ces treuils sont commandés par un arbre horizontal de 18,20 m de longueur, mû par un réducteur de vitesse accouplé à un moteur électrique de 5,5 ch, 220 v, 930 t : mn. L'arbre du moteur peut être rendu solidaire d'un harnais d'engrenages commandé par un volant à main.

Prise d'eau, canal d'aménée, canal de fuite. —

La prise d'eau est disposée parallèlement à l'axe de la rivière (fig. 2) ; elle est munie d'une grille de 145 m de longueur constituée par des barreaux en fer plat de 60 mm \times 8 mm inclinés à 1/5 et laissant entre eux un vide de 70 mm ; le seuil de cette grille est arasé à la

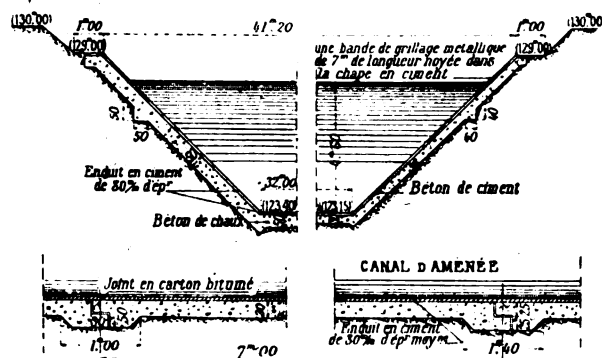


Fig. 9 et 10. — Coupes partielles des parois et du plafond du canal d'aménée.

cote 123,50 et sa partie supérieure à la cote 129,00 ; une passerelle de nettoyage en ciment armé sert d'appui aux sommets des barreaux.

À l'extrémité amont, une partie de la grille peut basculer pour le passage, par le canal d'aménée, des radeaux et, éventuellement, des chalands, l'acte de concession prévoyant que l'établissement d'une chaîne ininterrompue d'usines hydroélectriques le long de l'Isère permettra ultérieurement la navigation sur cette rivière.

Le canal d'aménée (fig. 9 et 10) a 1 600 m de longueur, 32 m de largeur au plafond et 4,60 m de profondeur. Le plafond est à la cote 123,40 à la prise d'eau et à la cote 123,15 à l'arrivée à l'usine ; sa pente est, par suite, de 156 millimètres par kilomètre. Les parois du canal sont inclinées à 45°, ce qui donne une section mouillée de 168,30 m². Son débit maximum, calculé par la formule de Bazin, est de 328 m³ : s, débit supérieur à celui de 270 m³ prévu par l'acte de concession (1).

(1) Le débit semi-permanent de l'Isère en cet endroit est de 285 m³ : s, c'est-à-dire que le débit réel ne descend au-dessous de cette valeur que pendant 180 jours au plus par an ; le débit d'étiage est de 105 m³ : s.

Fig. 11— Coupe longitudinale sur les groupes électrogènes.

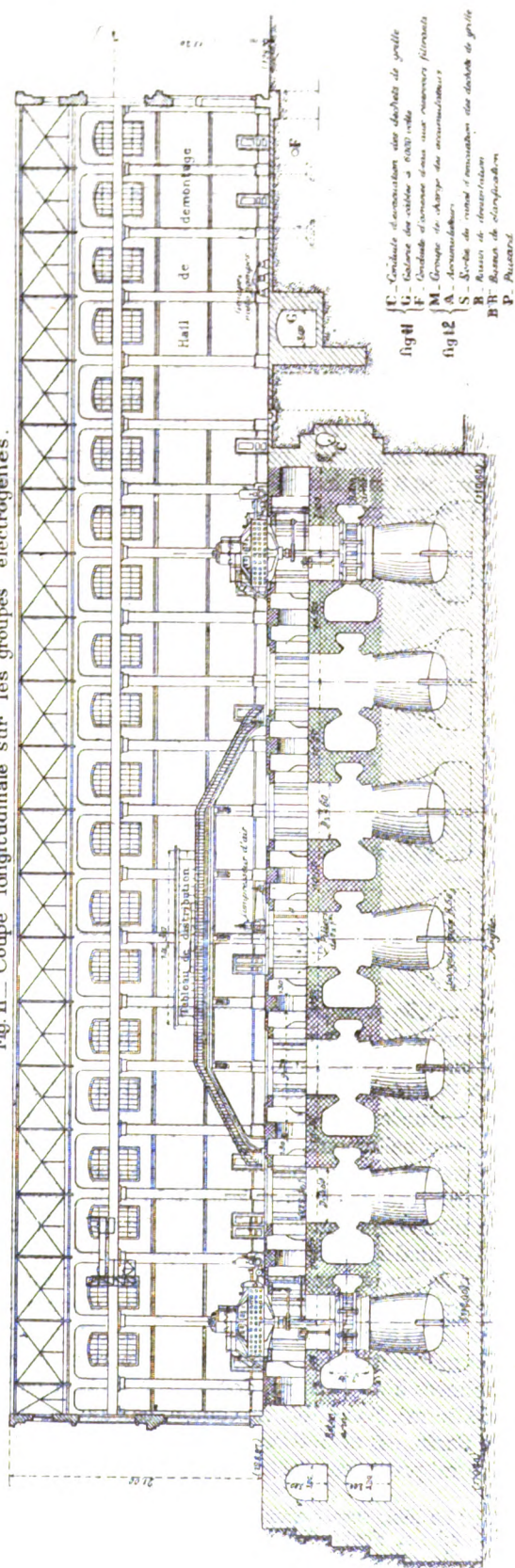


Fig12 — Coupe horizontale au-dessus des alternateurs

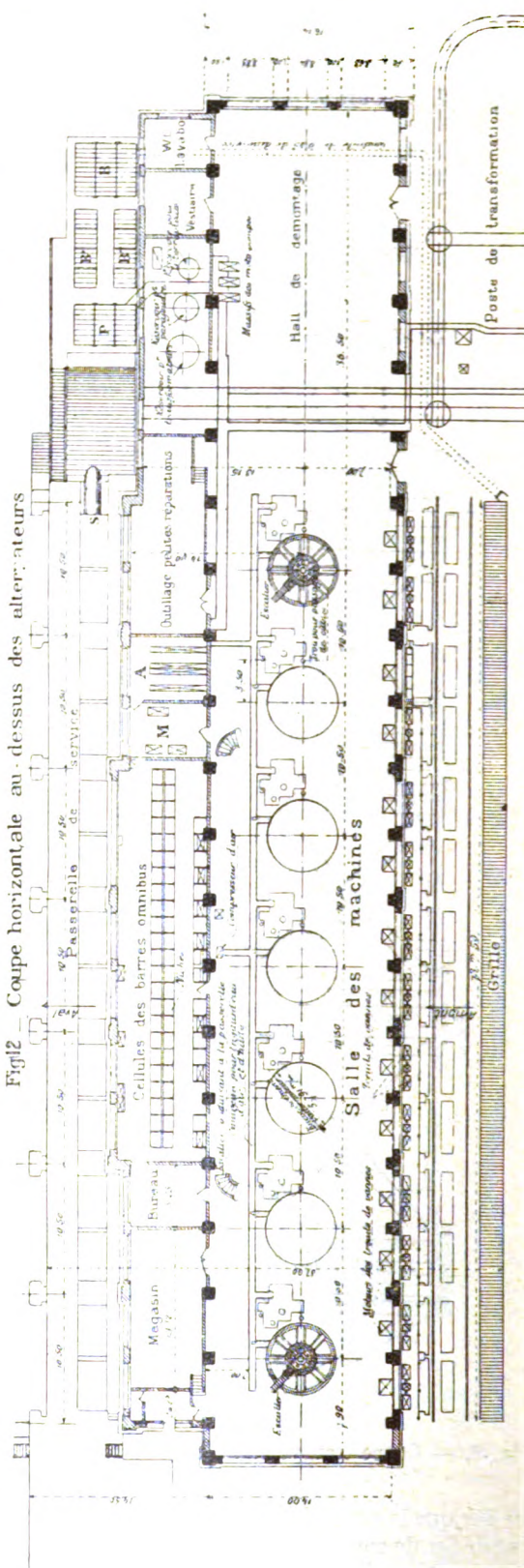


Fig. 11 et 12. — Coupe verticale et coupe horizontale de l'usine de Beaumont-Monteux.

A l'origine du canal d'aménée se trouve un déversoir de 200 m de longueur arasé à la cote 128 de la retenue légale. A son extrémité aval, le canal s'épanouit sur la largeur de l'usine et aboutit à une grille de 73,50 m de longueur formée de barreaux de fer plat de 80 mm \times 10 mm, inclinés à 1/5 et laissant entre eux un vide de 70 mm ; sur la rive gauche est prévue une écluse de navigation.

Le canal de fuite a une longueur de 500 m ; dans le voisinage de l'usine, ses parois sont protégées par des gabions métalliques.

Usine génératrice. — L'usine génératrice (fig. 11 à 15) est un bâtiment de 108,60 m de longueur et de 22 m de largeur dont la majeure partie est occupée par

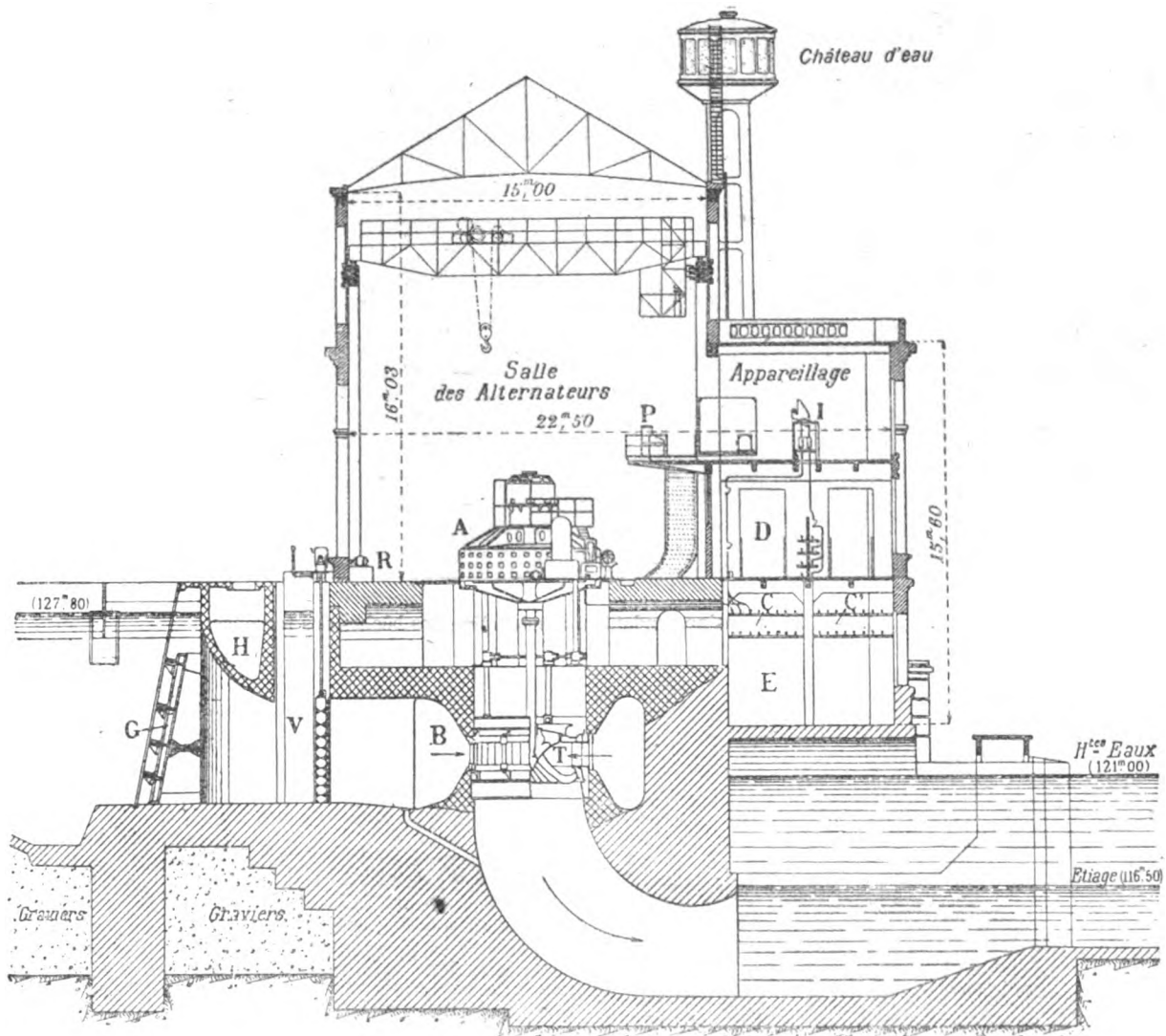


Fig. 13. — Coupe transversale de l'usine de Beaumont-Monteux.

la salle des machines, de 80 m de longueur et 15 m de largeur, contenant 7 groupes turboalternateurs de 4 000 kw chacun. Dans le prolongement de cette salle se trouve un hall de démontage ; un pont roulant de 45 t, de 18 m de course verticale et de 14,40 m de portée dessert la salle des machines et le hall de démontage. Le long de la salle des machines et en aval de celle-ci est accolé un corps de bâtiment occupé par le tableau de distribution, un magasin, un atelier de petites réparations, etc.

Une partie de ce dernier bâtiment comprend trois étages (fig. 13). L'étage inférieur E contient les barres venant des alternateurs et allant à des interrupteurs ainsi que les barres allant de ceux-ci au poste de transformation à 120 000 v ; il est prolongé par une galerie des câbles, par laquelle ceux-ci passent sous la salle des machines pour déboucher sur la façade amont de l'usine. L'étage intermédiaire D comprend, dans sa partie centrale, une salle pour les sectionneurs, les transformateurs de potentiel et d'intensité, etc., et, à ses extrémités,

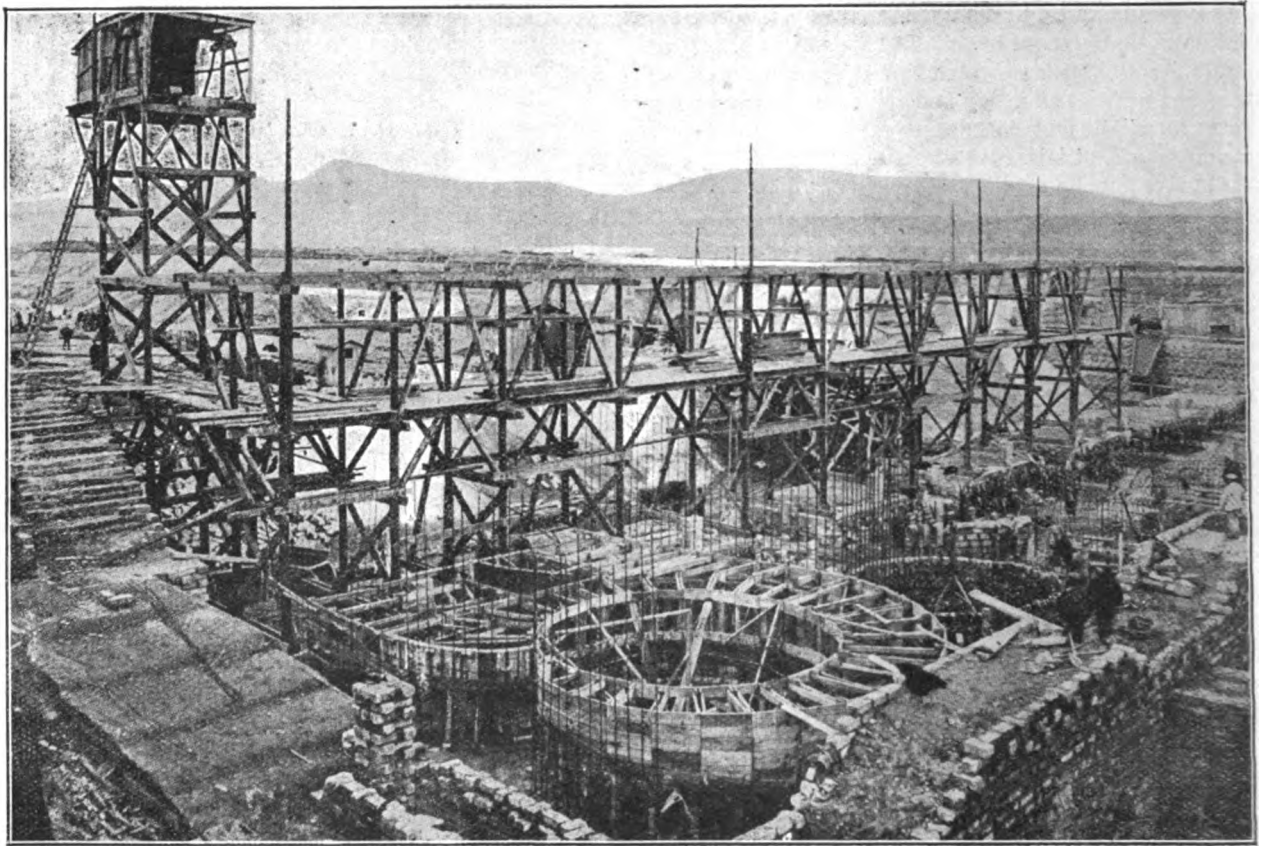


Fig. 14. — Vue de l'usine pendant la construction des bâches des turbines.



Fig. 15. — Vue de l'usine prise de l'aval.

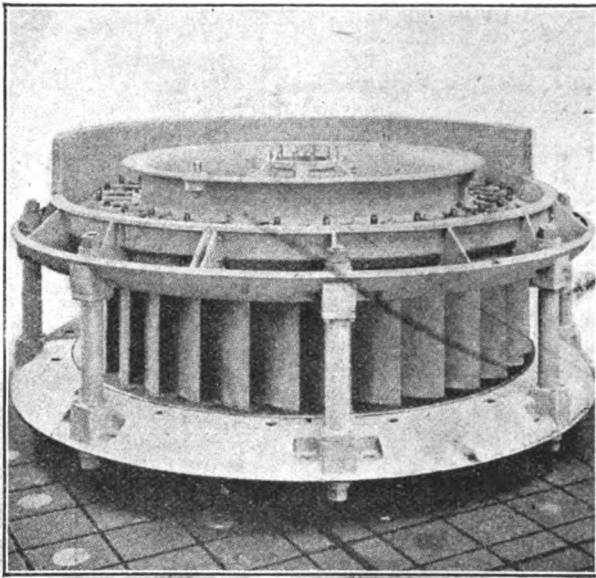


Fig. 16. — Vue du distributeur d'une turbine.

des magasins, bureaux, ateliers, une salle de transformateurs pour les services auxiliaires. L'étage supérieur renferme, dans sa partie aval, les interrupteurs à huile à 6 000 v ; dans sa partie amont, les pupitres et tableaux de distribution.

TURBINES. — Les turbines (fig. 16 et 17), fournies par les Ateliers Neyret-Beylier et Piccard-Pictet, sont du type Francis centripète à réaction. Leur vitesse angulaire est de 107 t : mn ; leur puissance est de 5 600 ch pour 10,20 m de chute et de 6 400 ch pour 11,30 m de chute ; leur débit de 50 m³ : s sous 10,20 m de chute.

La roue mobile, de 4 m de diamètre, pèse 12 t ; elle reçoit l'eau sur tout son pourtour par un distributeur à 36 directrices mobiles. Chaque roue est munie d'un tourillon inférieur et d'un tourillon supérieur sur lequel est claveté un levier relié à l'aide de bielles à un cercle de vannage, commandé à l'aide de biellettes, leviers et arbres, par le régulateur. Au sortir de la roue, l'eau est évacuée verticalement par un conduit d'aspiration en béton, en forme de pipe.

La roue mobile est boulonnée sur un arbre vertical de 400 mm de diamètre, assemblé avec l'arbre de l'alternateur qui porte à sa partie supérieure, sous l'excitatrice, le pivot. Celui-ci supporte une charge de 150 t, résultant du poids des parties tournantes de l'alternateur, de l'excitatrice et de la turbine et des réactions hydrauliques sur la roue mobile. Il est constitué par un manchon en fonte fixé à l'arbre, formant grain mobile, et reposant par sa face inférieure sur un grain fixe, noyé dans l'huile, par l'intermédiaire d'une couche pellicule d'huile.

Le réglage de la vitesse est assuré par un régulateur placé, pour la facilité du service, dans le voisinage de l'alternateur ; il est double, c'est-à-dire que le servomoteur de vannage est asservi à un petit régulateur

possédant tous les organes assurant la stabilité de la vitesse, laquelle peut être modifiée depuis le tableau de distribution de l'usine, pour effectuer le couplage en parallèle des groupes électrogènes.

ALTERNATEURS. — Nous ne faisons que les signaler ici, leur description devant être donnée dans la partie de l'article consacrée aux installations électriques. Bornons-nous à dire qu'ils sont construits, par la Compagnie française Thomson-Houston, pour donner 6 200 v entre phases.

APPAREILS DIVERS. — L'eau nécessaire au refroidissement des pivots des alternateurs, de l'huile sous pression des régulateurs et de l'huile des transformateurs est fournie par une canalisation alimentée par deux groupes moteur-pompe puisant l'eau dans un bassin où elle est filtrée par une grille métallique à mailles serrées et la refoulant dans le château d'eau situé à la partie supérieure de la façade aval de l'usine.

La lubrification des paliers des groupes générateurs est assurée par l'huile qu'une pompe à engrenage, entraînée par l'arbre de chaque groupe, puise dans une cuvette et refoule dans un réservoir placé à 9,50 m plus haut, d'où une conduite la distribue aux trois paliers de l'arbre et la ramène à la cuvette inférieure.

L'huile des transformateurs, interrupteurs et parafoudres doit être filtrée deux fois par an ; une canalisation spéciale et un filtre-pressé placé dans la salle d'épuration des huiles permettent d'effectuer commodément ces opérations.

La commande des servo-moteurs des régulateurs des turbines se fait au moyen d'huile sous pression ; la pression est obtenue au moyen d'air comprimé à 18 kg : cm² amené aux réservoirs d'huile par une canalisation.

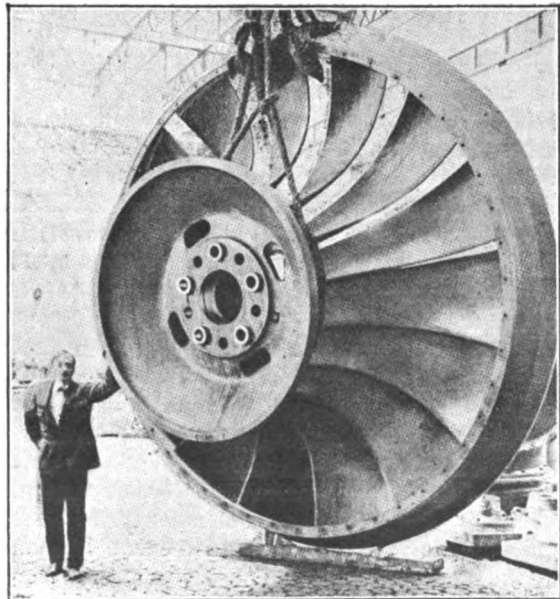


Fig. 17. — Vue de la roue mobile d'une turbine.

La manœuvre des vannes et l'éclairage du barrage sont assurés par un poste de transformation de 50 kv-a situé près du barrage et abaissant à 220 v la tension de 6000 v du courant produit par l'usine.

Deux transformateurs de 500 kv-a fournissent, également sous la tension de 220 v, le courant nécessaire aux services auxiliaires et à l'éclairage de l'usine. On a prévu, en outre, un éclairage de secours par courant

continu fourni par une batterie d'accumulateurs de 500 A-H chargée par un groupe convertisseur.

Poste de transformation extérieur à 120 000 v.

— Ce poste est installé dans le voisinage immédiat de l'usine, sur la rive droite du canal d'amenée (fig. 1 et 2).

Il sera décrit dans l'article qui sera consacré aux installations électriques.

J. REYVAL.

L'agonie du tracteur agricole

L'importance que présente l'application de l'énergie électrique aux travaux agricoles, bien que reconnue depuis longtemps déjà puisque dès 1879 des essais de labourage électrique étaient effectués à Sermaize (Marne), est surtout apparue à la suite de la guerre par suite de la nécessité où elle nous a mis d'augmenter notre production agricole avec une main-d'œuvre de plus en plus rare. Mais s'il est aujourd'hui reconnu que, pour les travaux intérieurs de la ferme, l'emploi de l'énergie électrique donne une solution satisfaisante du problème envisagé, son emploi dans les travaux des champs a été jusqu'ici concurrencé par celui des tracteurs à essence de pétrole. Un revirement semble cependant se produire dans l'esprit des cultivateurs utilisant ces tracteurs. Il convenait de signaler ce revirement qui marque les débuts d'une étape qui ne peut manquer d'avoir les plus heureuses conséquences sur le développement des applications de l'énergie électrique à l'agriculture. C'est ce que fait, dans la note qui suit, un spécialiste de ces applications, notre collaborateur, M. A. Delamarre.

I. — Quel tollé ne vais-je pas soulever, quels cris d'indignation ne vais-je pas encore entendre proférer par les constructeurs, en osant prétendre que le tracteur agonise, cet instrument qui, au lendemain de l'armistice, devait rénover l'agriculture française ! Déjà, l'an dernier, ayant voulu montrer l'influence de la concurrence allemande, et la nécessité pour nos constructeurs de mettre, avant tout, leur industrie au niveau du progrès au lieu de s'endormir béatement à l'abri de barrières douanières, je me suis vu houspillé de la belle façon, accusé d'aller prendre mes arguments « dans la corbeille à papier de quelque fonctionnaire de la rue de Varenne » et conseillé d'aller essayer mon talent dans les champs en friches !

J'aurais pu accepter le défi et reprendre les mancherons de la charrue ; je suis persuadé que j'aurais encore pu tirer des raies plus droites que le président de la Chambre syndicale des Constructeurs de machines agricoles lui-même ! Mais j'ai pensé que si j'avais déchainé l'orage, c'est que mes arguments n'étaient pas sans valeur ; et j'ai laissé agir le temps qui devait me donner raison.

Je n'hésite donc pas aujourd'hui à répéter : le tracteur agricole agonise. Et en le répétant je ne fais que constater une situation que toutes les revues agricoles ont signalée. Il m'a paru que, nous, électriciens, devons examiner très attentivement les causes de la décadence du tracteur, afin d'en tirer des conclusions profitables, car nous ne saurions nous désintéresser de cette maladie dont souffre actuellement la motoculture en général, et qui, si l'on n'y prend garde, nous fera revenir en arrière sur cette route du progrès qui ne devrait avoir qu'un sens : en avant.

II. — Comment, d'un engouement peut-être aussi grand qu'irraisonné pour le tracteur, nos agriculteurs français paraissent-ils arrivés à conclure — prématurément je l'espère encore — que les chevaux ou les bœufs tirant l'antique charrue de nos aïeux constituent le meilleur moyen de ne pas nous laisser mourir de faim un jour ?

Pour le comprendre, il suffit de suivre l'évolution de la motoculture naissante.

Pendant la guerre, comme au lendemain de l'armistice, le problème se posait fort simplement sous la forme du dilemme suivant : labourer mécaniquement ou ne pas labourer du tout. Et comme la terre, alors, — c'est un secret que l'on avoue maintenant que vient la période des vaches maigres ! — rapportait de gros bénéfices, aucune hésitation n'était permise : il fallait labourer et à tout prix.

D'autre part l'Etat, ce prodigue sans conseil... judiciaire, ouvrait facilement ses caisses, et c'était l'âge d'or des subventions.

Il faut reconnaître que nos cultivateurs auraient eu un singulier mérite s'ils s'étaient abstenus. Ils ne s'abstinrent pas et, pour une fois, écoutant les conseils de leurs gouvernants, confiants probablement dans cette sagesse plus proverbiale que réelle que les simples accordent aux grands, ils achetèrent à qui mieux mieux ces tracteurs-panacées qui devaient remplacer les chevaux et les bœufs défaillants.

C'était l'époque où la motoculture paraissait devoir consister moins à obtenir le blé au prix le plus bas qu'à retourner le plus d'hectares possible. On pensait qu'en multipliant le nombre des tracteurs on augmenterait la production dans des proportions considérables. La

meilleure démonstration qui fut donnée de cette erreur, résida dans ce fait que des surfaces importantes labourées par les batteries du Service de la Motoculture furent abandonnées, parce que, tout simplement, l'on ne disposait ni des hommes ni des attelages nécessaires pour les façons superficielles qui devaient compléter le travail de la charrue.

Voilà une première erreur. On y remédia par une meilleure organisation. Mais bientôt les hauts prix du carburant, d'une part, les frais de réparation souvent élevés, d'autre part, donnèrent à réfléchir. On réfléchit d'autant plus que l'on est obligé d'ouvrir son porte-monnaie ; on se figure assez volontiers, par exemple, que 100 fr d'essence coûtent plus cher que 100 fr d'avoine, parce que cette dernière est prise au grenier de la ferme. C'est là un phénomène psychologique qui a une très grande importance et qui explique que, pour beaucoup de nos ruraux, le tracteur est ruineux alors que le cheval ne coûte presque rien.

Des convaincus persévérèrent cependant ; ils furent vite rebutés par les difficultés. Le tracteur, dans leur esprit, aurait pu leur rendre de grands services dans les saisons pluvieuses où il faut labourer vite pour profiter des quelques journées de beau temps. Malheureusement — comme beaucoup de citoyens — le tracteur n'aime ni la pluie, ni les terrains détrempés. Il pouvait aussi, à l'automne, donner la possibilité de travailler les terres au moment où les attelages sont occupés aux charrois de betteraves. Mais le charretier le plus intelligent de la ferme auquel on le confiait avait pannes sur pannes. Y mettait-on un ancien conducteur d'autos, voire de poids lourds, on était surpris d'avoir des cylindres claqués à chaque instant ; c'est que le mécanicien n'avait aucune expérience de cet engin spécial qu'est le tracteur dont le moteur fonctionne constamment à pleine charge, sans avoir pour se reposer la bienheureuse descente ou même le palier. Mais que faire ? On a formé quelques rares spécialistes et il en eût fallu des centaines.

Ce fut la seconde erreur. Le cultivateur devint méfiant. Lui qui aime voir marcher, puis essayer, ensuite se rendre compte pendant combien de temps cela fonctionnera sans accrocs, devait fatalement voir tomber ses espoirs de la première heure.

La crise actuelle, réaction inévitable de la course folle à la hausse, est venue à son tour briser l'essor de la motoculture. Quand l'agriculteur faisait de gros bénéfices, quand l'Etat lui remboursait jusqu'à la moitié de la valeur des matériels, il n'hésitait guère à acheter. Ces beaux jours sont passés. La baisse des produits agricoles, que ne suit pas l'abaissement du prix de la vie, l'augmentation constante des charges, ont rendu circonspect ; les bénéfices s'étant comprimés le pouvoir d'achat a diminué.

D'autre part, l'agriculteur estime que la baisse des produits agricoles doit entraîner celle des machines ;

il n'achète que le strict nécessaire... mais plus de tracteurs.

C'est là un fait indéniable que l'organe officiel des agents en machines agricoles reconnaît lorsqu'il écrit : *En ce qui concerne la motoculture, c'est partout le néant.*

III. Agonie : dernier combat du malade contre la mort, dit le dictionnaire. Il est à souhaiter, étant donnée l'importance qu'avait prise l'industrie française du tracteur, que celui-ci sorte victorieux de ce combat suprême. Le rétablissement sera dur ; il faudra dépenser dix, vingt ou cinquante fois, peut-être, plus d'efforts pour ramener l'agriculteur et le convaincre à nouveau.

Pour nous, électriciens, qui nous sommes faits les apôtres du labourage électrique, nous devons profiter des erreurs commises par nos concurrents, erreurs que je viens d'exposer. Soyons donc prudents ; ne craignons ni des démonstrations toujours plus nombreuses, ni un contrôle systématique et sérieux de nos appareils, ni les concours, même s'ils sont extrêmement durs, ni des essais officiels variés. Ne redoutons pas la comparaison, puisque nous avons la certitude que toutes les qualités de nos matériels seront mises en valeur.

Puis, inspirons confiance aux agriculteurs en leur offrant, par l'entremise de sociétés spéciales d'exploitation, d'électrifier leurs plaines en ne leur demandant au début qu'une simple redevance : montrons-leur que grâce à ces lignes fixes ils pourront instantanément mettre un treuil en service pour faire non seulement leurs labours, mais même les façons culturales accessoires, et cela avec une facilité remarquable. D'après la même méthode, exécutons leurs labours à façon, afin de leur permettre de juger de visu, non pas pendant quelques jours, mais pendant un ou deux ans s'il le faut.

Ne cherchons pas à leur démontrer que nous pouvons supprimer leurs chevaux ; ils en ont besoin, ils en auront toujours besoin et pour leurs charrois de récoltes et surtout pour faire du fumier (car on ne peut pas cultiver exclusivement avec des engrais).

Démontrons-leur que seuls nos treuils sont capables de faire les labours profonds qui augmentent les rendements, et aussi les travaux plus légers lorsque le temps fera défaut. Faisons-leur constater que nos câbles ne s'arrêtent de tirer ni quand il fait trop sec, ni quand le terrain est gras et détrempé.

Alors ils seront convaincus. Beaucoup le sont déjà. Tous nous sont favorables. Il ne reste qu'à leur prouver qu'ils ne se sont pas trompés.

Mais il faut le faire beaucoup moins par la parole — pour cela j'y suffis amplement dirons les grincheux — que sur le terrain même. C'est en suivant la charrue que nous creuserons le meilleur sillon.

Ach. DELASARRE.

Note sur les qualités générales des divers paliers de transmissions, avantages des paliers à billes

Depuis une vingtaine d'années, les paliers de transmissions ont fait l'objet de nombreuses recherches, accompagnées d'investigations théoriques et pratiques destinées à mettre en lumière les meilleurs dispositifs, au point de vue de leur rendement mécanique. Les progrès réalisés à la suite de ces recherches et investigations sont assez considérables. Dans cette note, l'auteur se propose de les résumer.

I. LES QUALITÉS REQUISES DES PALIERS DE TRANSMISSIONS. — Les résultats économiques de l'emploi des paliers de transmissions dépendent de cinq qualités primordiales, qui peuvent être énumérées comme suit : 1° Rendement mécanique; 2° régularité de fonctionnement; 3° économie d'huile; 4° prix d'achat; 5° encombrement.

Le rendement mécanique est, de toutes ces qualités, celle qui exerce l'influence la plus considérable. Il est, à son tour, dépendant du coefficient de frottement.

On distingue, comme on le sait, deux sortes de frottement suivant la nature des paliers : le frottement de glissement et le frottement de roulement. Le premier se rencontre dans les paliers lisses, tandis que le second caractérise les paliers à billes.

Le coefficient de frottement a , du reste, la même définition dans les deux cas : il est toujours exprimé par le nombre par lequel il faut multiplier la charge sur le palier pour obtenir la force de résistance tangentielle qui s'oppose au mouvement.

II. PALIERS LISSES. — Dans les paliers lisses, le coefficient de frottement dépend des qualités du lubrifiant employé, du mode de graissage, de la matière et de la nature des métaux en présence, de la charge totale et, par conséquent, de la pression, ainsi que de la vitesse de rotation et de la température des paliers.

Pour abaisser le coefficient de frottement, on emploie, en effet, un lubrifiant qui forme une mince couche entre la surface de l'arbre et celle des coussinets et substitue ainsi, au frottement entre corps solides, celui des particules intérieures d'un liquide.

Cette couche d'huile, d'épaisseur uniforme, ne peut être entretenue que grâce à la rotation de l'arbre. Dès l'arrêt, elle se trouve chassée par la pression et les métaux reprennent alors le contact direct. Au démarrage, le frottement à vaincre est donc beaucoup plus fort qu'en marche, et il n'est pas rare de le voir atteindre ainsi une valeur dix fois plus grande qu'en plein mouvement, lorsque le palier s'est un peu échauffé.

Quant à la pression, son augmentation détermine aussi un abaissement du coefficient de frottement. Ce dernier est beaucoup plus grand en cas de faible charge, que sous une pression plus élevée. En général, la valeur du coefficient dépend aussi de la vitesse de rotation.

On peut néanmoins attribuer, pour la pratique courante, une valeur approximative au coefficient de frottement des paliers lisses. Cette valeur est voisine de 0,015 en marche courante.

Des quelques considérations ci-dessus résultent les conséquences suivantes :

1° Le rendement des paliers lisses est franchement mauvais, comme on s'en rend compte aussi par l'expérience et

notamment par les nombres du tableau suivant. Ce tableau a été publié par M. Graves dans l'« American Machinist » du 5 juin 1913, et donne les résultats d'expériences suivies dans près de 200 usines appartenant à diverses branches d'industrie.

TABEAU I.

| BRANCHE D'INDUSTRIE | PUISSANCE ABSORBÉE PAR LE FROTTEMENT DE CHAQUE PALIER EN CHEVAUX | | |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------|---------|---------|
| | maximum | minimum | moyenne |
| Menuiserie..... | 0,318 | 0,015 | 0,117 |
| Textile..... | 0,037 | 0,010 | 0,027 |
| Mécanique..... | 0,237 | 0,025 | 0,066 |
| Divers..... | 0,321 | 0,015 | 0,119 |

Bien noter qu'en charge, c'est à dire lorsque les courroies tirent, la puissance absorbée par le frottement est au moins 2 ou 3 fois plus grande. D'après cela, chaque industriel peut se faire une idée approchée des pertes par frottement des paliers dans son usine.

2° Le rôle essentiel confié au graissage, pour améliorer un peu le rendement, n'est pas sans affecter la régularité de fonctionnement des paliers. Dès que le graissage cesse d'être assuré abondamment, le palier privé d'huile chauffe, peut donner lieu à des grippements et même à des incendies si des parcelles incandescentes détachées de l'arbre tombent sur des matières combustibles.

En outre, il faut compter avec l'usure de l'arbre et des coussinets, usure qui rend l'entretien très coûteux.

3° La consommation de lubrifiant est grande dans les paliers lisses, comme nous l'avons déjà remarqué, par suite du débit abondant qui est indispensable pour garder les paliers en bon état de fonctionnement.

4° Le prix d'achat d'un palier de ce genre est relativement bas.

5° Notons aussi que les paliers ordinaires ne demandent que peu de place dans le sens radial, tandis que dans le sens axial, suivant la longueur de l'arbre, l'encombrement est assez considérable. Quant aux butées lisses, particulièrement dans les constructions à plusieurs collets, elles sont souvent très encombrantes dans les deux sens.

III. PALIERS A BILLES. — La garniture intérieure de ces paliers est constituée par un roulement à billes qui doit être de construction annulaire, c'est-à-dire formé de deux bagues dont l'une est fixée sur l'arbre et l'autre placée dans le logement en fonte du palier même, et entre lesquelles roulent les billes.

La pratique montre que les roulements à simple rangée de billes, qui ne peuvent être construits que comme des

organes rigides, et rendent d'ailleurs de grands services à ce point de vue, sont inapplicables aux arbres de transmissions. La longueur des portées, les fléchissements relativement considérables de l'arbre exigent une construction à rotule.

Pour éviter de tomber dans un brevet déjà pris, des inventeurs ont essayé de créer des systèmes à rotule analogues à ceux des paliers lisses, en tournant la bague extérieure en forme de boule, et en la logeant à l'intérieur d'une fonte qui épouse cette forme. Mais le meilleur moyen d'obtenir un roulement ayant, à la fois, une grande capacité de charge et une rotule sans frottement, est de prendre *deux* rangées de billes et de les faire rouler dans la concavité d'une *bague extérieure alésée en forme de sphère*. Un appui égal est ainsi fourni aux deux rangées de billes. Le roulement possède une capacité de charge « radiale » maximum et tourne toujours librement.

Cette construction, bien connue, est due à la Société des Roulements à Billes SKF. La figure 1 ci-contre suffit à la rappeler.

Le coefficient de frottement de ces roulements présente des particularités tout à fait remarquables :

- a) Il est à peu près indépendant de la charge ;
- b) Il est également indépendant de la vitesse et, ce qui est particulièrement important, n'est pas plus grand au démarrage qu'en pleine marche ;
- c) Sa valeur est toujours très minime, restant aux environs de 0,001 et cela, répétons-le, aussi bien au démarrage qu'en pleine marche.

D'où les conséquences suivantes :

1° Comme le coefficient de frottement doit toujours être petit pour le bon rendement du palier, et qu'il est particulièrement bas dans les paliers SKF, on voit que ceux-ci doivent avoir un très bon rendement. Les pertes de puis-

sance par frottement des paliers, telles qu'elles résultent du tableau précédent, sont très fortement réduites si

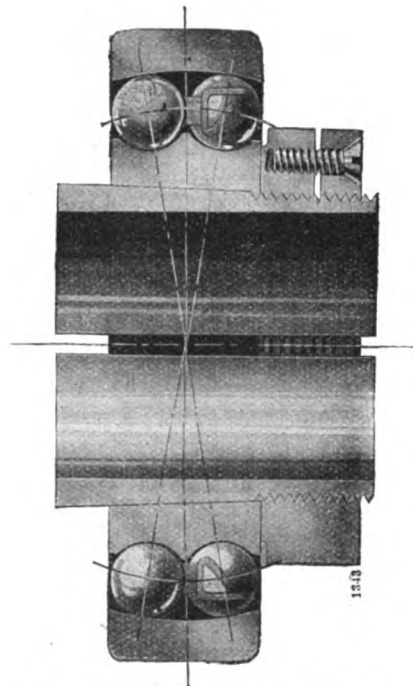


Fig. 1. — Coupe d'un roulement SKF à rotule sur billes, avec manchon de serrage permettant la fixation sur l'arbre.

l'on remplace les paliers lisses par des paliers à billes. De nombreuses mesures de comparaison ont d'ailleurs été

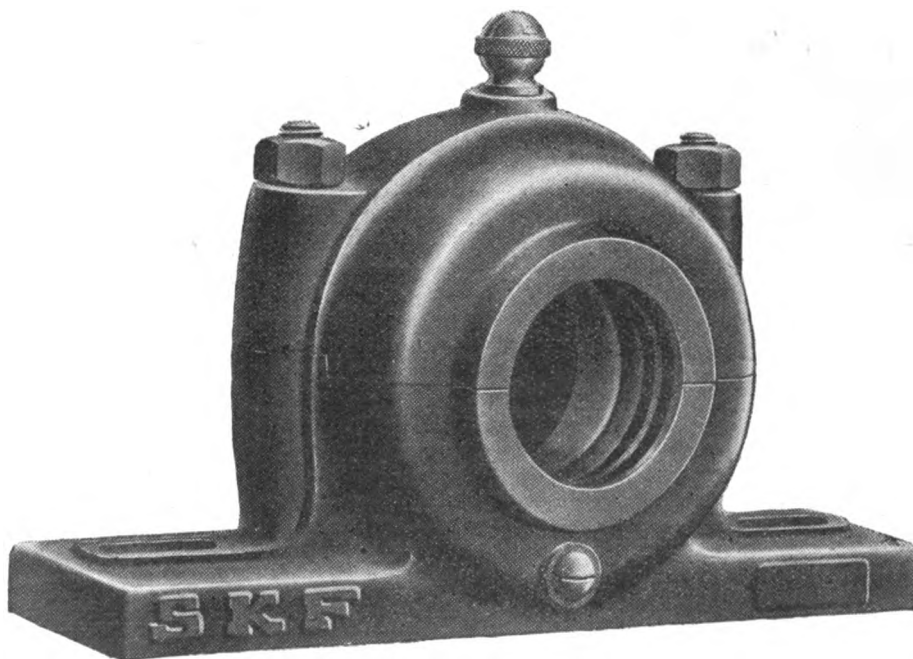


Fig. 2. — Vue extérieure d'un palier à billes pour transmission.

faites, pour évaluer cet avantage des paliers à billes sur les paliers lisses. Parmi ces expériences précises, nous n'en

citerons qu'une, faite en grand et dans sa propre manufacture par le propriétaire d'un grand tissage des environs de

Rouen. Cet industriel, ayant mesuré exactement sa consommation de charbon avant et après l'installation des paliers SKF, a trouvé que ces derniers lui procuraient journellement une économie de charbon égale à 1 000 kg, ce qui représente 20 à 25 pour 100 de la consommation antérieure à l'installation.

2° La régularité de fonctionnement est, comme nous l'avons fait remarquer plus haut, en raison directe du rendement du palier. Elle doit donc être excellente pour les paliers à billes. En effet, si le frottement est à peu près nul, les causes de détérioration des paliers sont écartées, dès l'instant que ceux-ci sont bien choisis et convenablement montés. De nombreuses transmissions, montées sur paliers SKF, fonctionnent ainsi depuis plus de quinze années, sans

paliers sauf un seul, celui qui maintient l'arbre en place.

D'autre part, comme les paliers à billes doivent toujours être obturés par des rondelles de feutre formant joint sur les arbres, le lubrifiant est retenu à l'intérieur du palier.

4° Les roulements à billes sont très courts et compacts; les paliers SKF présentent ces deux avantages.

Ils sont aussi faciles à installer, grâce à la rotule qui donne plus de latitude dans l'alignement des paliers, et grâce au manchon de serrage qui permet de les fixer, sans la moindre difficulté, à l'endroit voulu de l'arbre.

5° Si on examine le prix d'achat, on trouve qu'un roulement à billes de construction supérieure coûte plus cher naturellement qu'un palier lisse, mais les services qu'il rend sont assez importants pour payer très vite les frais de premier établissement. Voici, du reste, un tableau détaillé qui a été dressé en prenant les moyennes de mesures comparatives effectuées sur 25 installations diverses, avant et après le changement des paliers lisses par des paliers à billes SKF.

TABLEAU II.

| VALEURS MOYENNES DES FACTEURS À ENVISAGER | AVEC TRANSMISSION MUNIE DE | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------|
| | paliers lisses | paliers SKF |
| Puissance nécessaire pour actionner la transmission avec les machines embrayées.... | 93 kw | 74,6 kw |
| Puissance nécessaire pour actionner la transmission, les courroies des machines reposant sur les poulies folles.. | 32 kw | 13,5 kw |
| Nombre de paliers..... | 110 | 110 |
| Dépenses d'énergie motrice, à 0 fr 45 le kilowatt-heure, pour une année (2 400 heures). | 102 000 fr | 80 000 fr |
| Capital engagé pour l'achat et l'installation des paliers à billes..... | 30 000 fr | |
| Intérêt de ce capital à 6 pour 100. | 1 800 fr | |
| Amortissement à 4 pour 100.. | 1 200 fr | |
| Total des dépenses pour la première année après la transformation | 33 000 fr | |
| Economie réalisée sur l'énergie motrice..... | 22 000 fr | |
| Economie sur le graissage et l'entretien..... | 3 000 fr | |
| Total des économies pour une année | 25 000 fr | |
| Récupération sur le capital engagé, au bout de la première année de fonctionnement des paliers à billes ... | 83 pour 100 | |

Fig. 3. — Chaise pendante SKF munie intérieurement d'un roulement à billes avec manchon de serrage.

aucun accident de marche, ni arrêt pour réfection des garnitures.

3° L'économie d'huile est très forte, car le rôle du lubrifiant est plutôt de garantir les billes et les bagues contre les attaques de la rouille, tout en réduisant encore le très petit frottement des billes contre la cage. En outre, le graissage facilite le déplacement longitudinal de la bague extérieure du roulement dans le palier, déplacement rendu nécessaire par la dilatation de l'arbre et qui doit exister dans tous les

Ce tableau fera aisément comprendre l'intérêt des paliers à billes, et la puissante raison d'économie qui a fait monter, en France et pour la marque SKF seulement, plus de 250 000 paliers à billes.

H. BURSIE,
Ingénieur civil.

Revue, analyses et informations

La rigidité diélectrique des isolants solides (1).

Sous le nom de rigidité diélectrique, on désigne la tension qui amène la rupture de l'isolant sous une épaisseur égale à l'unité. Dans le travail de l'auteur, cette rigidité est exprimée en volts par millième d'inch (0,025 mm). L'isolant étant perforé pour la valeur maximum de la tension, il est très important d'utiliser pour les essais une tension sinusoïdale. Pour éviter les effets de résonance, il convient de régler la tension sans rompre le circuit, et la période d'oscillation propre du circuit secondaire, due à la capacité du dispositif d'essai, doit être au moins égale à quarante fois la fréquence appliquée, cette dernière condition étant facile à obtenir si la réactance de fuites du transformateur est

faible. La puissance du transformateur utilisé pour les essais doit être au moins égale à 5 kv-A alimenté par un alternateur de 10 kv-A dont la tension normale soit au moins une fois et demie égale à la tension normale du primaire du transformateur.

La fréquence employée peut être choisie entre 25 et 125 p. s., tout au moins pour les essais courants; il n'en est plus de même si les isolants sont destinés à des appareils à très haute fréquence. La tension doit croître régulièrement; si son réglage est obtenu par la manœuvre d'un rhéostat, le passage d'un plot à l'autre de celui-ci doit toujours amener le même rapport de variation de cette tension. La rigidité diélectrique décroît avec la température ainsi que le montrent les figures 1 à 3, il est donc important de faire les

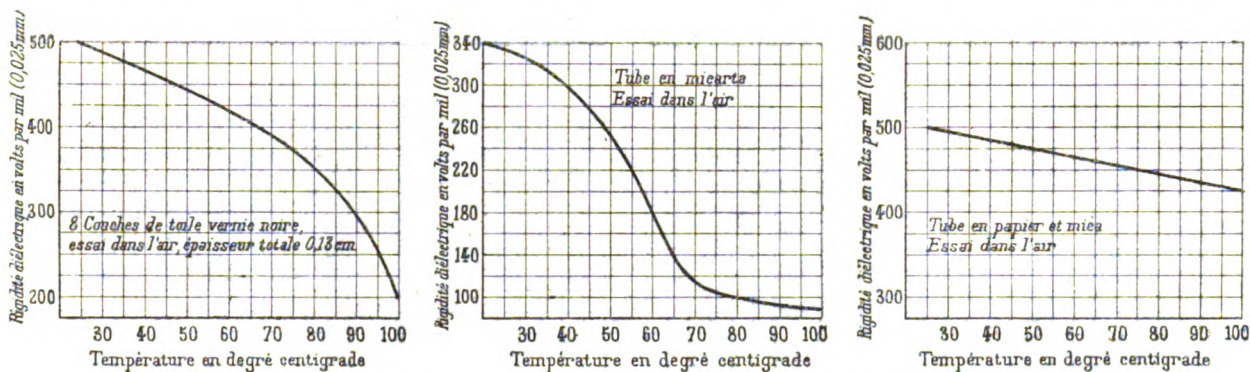


Fig. 1, 2 et 3. — Variation de la rigidité diélectrique en fonction de la température.

essais à des températures bien connues. L'effet de l'épaisseur de l'isolant est très loin d'être régulier; en général, la rigidité décroît lorsque l'épaisseur augmente; la figure 4

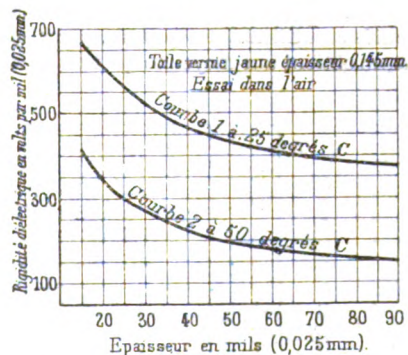


Fig. 4. — Variation de la rigidité diélectrique en fonction de l'épaisseur.

montre cette variation pour la toile vernie dans l'air à la température ordinaire et à 100°; on peut attribuer ce fait à ce que l'échauffement de l'isolant au milieu de l'épaisseur est plus grand qu'à l'extérieur, et que sa rigidité diélectrique diminue pour cette raison. L'auteur a imaginé le dispositif

d'essai de la figure 5 et les résultats obtenus sont représentés par la figure 10; pour 10 kv, la distribution est pratiquement uniforme dans les trois couches d'isolant; à 11 kv-A, la distribution est déjà moins bonne et cet effet s'accroît lorsque la tension augmente; à 15 kv-A, la couche du milieu est perforée après une demi-minute; cet essai confirme l'opinion que la diminution de la rigidité diélectrique quand

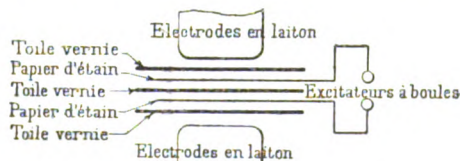


Fig. 5. — Dispositif pour l'essai des toiles.

l'épaisseur augmente est due à l'échauffement de la partie intérieure de l'isolant. Ces observations sont exactes pour les isolants qui occasionnent des pertes notables, l'effet est beaucoup moins sensible pour le mica et dans ce dernier cas il est probable que les différences observées tiennent particulièrement au fait que les champs électrostatiques ne sont pas absolument uniformes. Pour l'essai des plaques isolantes, on emploie en général des électrodes plates en forme de disques; le gradient du potentiel entre les électrodes est représenté par la figure 6; si la distance est augmentée et que l'on intercale une ou plusieurs couches d'un isolant, le

(1) W. S. FLIGHT. *Electrical Review*, 13 et 20 janvier 1922, t. xc, p. 39-41 et 76-79.

gradient du potentiel est alors représenté par la figure 7 et on remarque, dans ce cas, que la contrainte croît avec

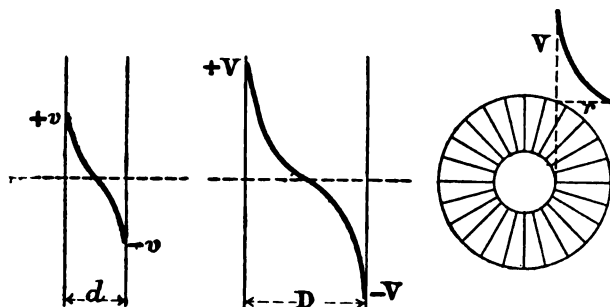


Fig. 6. — Distribution probable du potentiel lorsque les électrodes sont rapprochées. — Fig. 7. Distribution probable de potentiel lorsque les électrodes sont éloignées. — Fig. 8. Distribution du potentiel dans un isolant de forme tubulaire.

l'épaisseur; aussitôt que cette contrainte dépasse la valeur critique, l'isolant claque. La forme donnée à l'isolant a éga-

lement une grande importance, car le champ électrostatique en dépend; la figure 8 montre le gradient du potentiel dans un isolant en forme de tube, l'auteur a fait une série d'essais comparatifs sur des plaques et des tubes en bakelite micarta de $\frac{1}{16}$ et $\frac{1}{4}$ d'inch d'épaisseur et il a trouvé que les tensions de perçement étaient égales à 70 et 128 kv pour les plaques et 52 et 97 kv pour les tubes.

Comme le courant de fuite provoque une perte égale à R/I^2 , la quantité d'énergie fournie à l'isolant est proportionnelle à la durée de l'essai; comme cet isolant est en général mauvais conducteur de la chaleur, il peut y avoir un gradient de température très défavorable pour la conservation de l'isolant. la durée d'application de la tension peut ainsi avoir une très grande influence sur les résultats obtenus et c'est ce que montrent les figures 9 et 10; les courbes de la figure 11 montrent les résultats obtenus en soumettant à la tension un nombre variable de couches de toile vernie, la tension de rupture par couche diminue avec leur nombre. L'augmentation de la température à l'intérieur de l'isolant a une importance considérable sur la valeur de la tension de disrapture; les dimensions et le poids des électrodes utilisées pour les essais

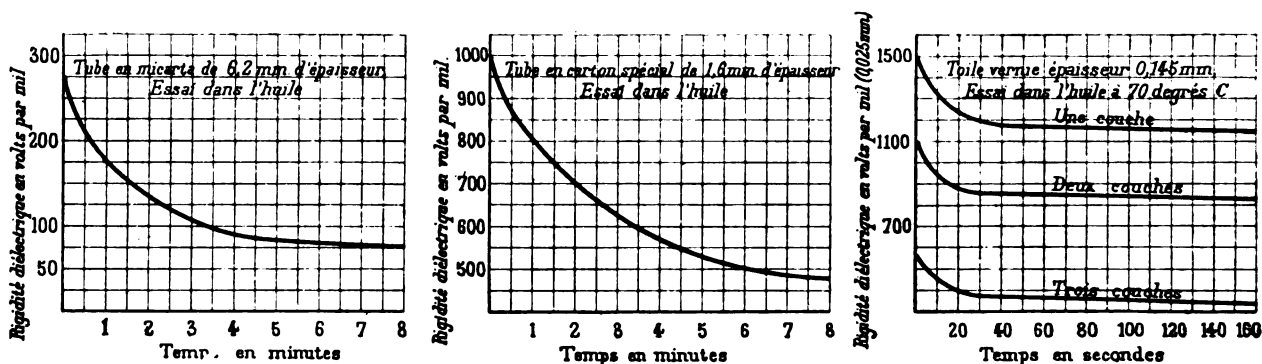


Fig. 9, 10 et 11. — Variation de la rigidité diélectrique en fonction de la durée d'application de la tension.

ont donc une influence, mais qui est cependant très peu marquée. En général les isolants solides sont éprouvés au point de vue diélectrique au moyen d'électrodes planes, l'es-

sai fait dans ces conditions donne des résultats inférieurs à ceux exécutés en utilisant des pointes, parce que, dans le premier cas, on obtient une moyenne qui tient compte de tous

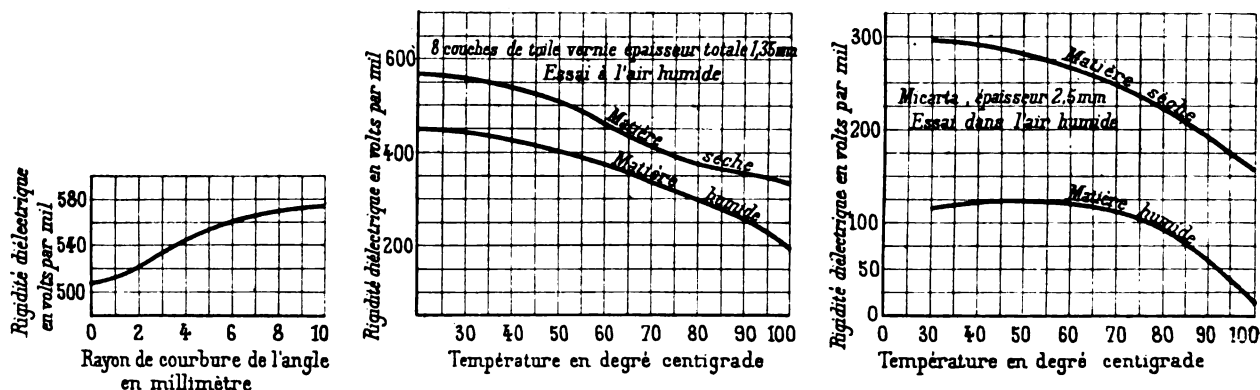


Fig. 12. — Influence du rayon de courbure de l'angle de l'électrode sur la rigidité diélectrique de la toile vernie.

Fig. 13 et 14. — Influence de l'humidité sur la rigidité diélectrique.

les défauts locaux dans l'isolant. Dans la pratique, les isolants utilisés ne sont pas à surface plane, ils sont plus ou moins

cintrés, en forme de tubes, etc.; dans ce cas la forme donnée à l'isolant a une influence qui devient particulièrement impor-

tante si la pièce comporte des angles vifs ou même arrondis, la figure 12 montre cette influence en fonction du rayon de l'arrondi de l'angle. Les isolants fibreux sont toujours pénétrés par l'humidité, il est utile de connaître l'influence de cette humidité sur la qualité des isolants; les figures 13 et 14 montrent cette influence qui ne laisse pas d'être considérable. Il est encore de première importance de décider si les expériences doivent être faites dans l'air ou dans l'huile, dans certains cas les différences observées sont relativement considérables, elles sont en général dues à la différence entre les formes du champ électrique dans l'air et dans l'huile, cet effet est particulièrement marqué lorsque les électrodes sont en forme de pointes; dans l'huile, l'humidité contenue dans l'isolant ne peut s'échapper que lorsque la température est suffisamment élevée; dans ce cas, la rigidité diélectrique augmente avec la température. L'auteur recommande pour les essais l'emploi du dispositif qu'il a établi; en outre, il conseille de porter les électrodes et l'isolant à 90°; les résultats doivent être donnés en faisant mention de l'épaisseur de l'isolant, et exprimés en volts par mil (0,025 mm) pour les isolants d'épaisseur moindre que 1 cm, et en kilovolts par centimètre pour ceux d'épaisseur plus grande; si l'isolant est destiné à une machine, il importe de réaliser une forme du champ qui se rapproche le plus possible de celle obtenue en service; si l'isolant est utilisé dans l'air, l'essai doit être fait dans une étuve à une température donnée, et en présence d'une quantité d'eau suffisante pour obtenir la saturation de l'air; pour les isolants utilisés dans l'huile, l'essai devra être fait dans une huile dont la tension de rupture soit au moins 45 000 v : cm (ou 14 000 v entre pointes espacées de 3 mm).

La question des isolants étant d'importance considérable pour la construction des machines et appareils, l'auteur espère que son étude sera suivie d'autres ayant pour but d'établir une réglementation des essais.

E. B.

Les phénomènes radiotélégraphiques (1).

Quelques-uns des phénomènes qui se produisent dans les circuits de radio-fréquence peuvent être représentés d'une façon exacte par la théorie ordinaire des courants alternatifs, le calcul mathématique étant même parfois simplifié dans le cas de ces radio-fréquences. Il n'en est pas de même pour les phénomènes de transmission des ondes radioélectriques d'un point de la surface de la terre à un autre point, car alors il s'introduit de nombreuses variables rendant très difficile toute analyse du phénomène.

Les difficultés qui sont particulières à la transmission et à la réception des ondes hertziennes peuvent être divisées en :

1° Affaiblissement momentané de l'intensité des ondes reçues, c'est ce que les Anglais appellent « fading » ou « swinging »;

2° « Parasites » ou « atmosphériques »;

3° Interférence d'autres stations dont on ne désire pas recevoir les signaux.

L'affaiblissement momentané, ou « fading », est la variation rapide de l'intensité des signaux reçus d'une station émettrice donnée, les circuits de réception et d'émission demeurant constants. C'est essentiellement un phénomène nocturne.

Les « parasites » sont des perturbations donnant nais-

sance à des bruits irréguliers dans les récepteurs téléphoniques. Ils existent plus ou moins forts en tout temps, mais ils sont surtout gênants la nuit et en été.

Le brouillage ou interférence des autres stations diffère des deux phénomènes précédents en ce qu'il peut être éliminé. Nous ne nous y arrêtons pas, et nous limiterons notre étude à l'affaiblissement et aux parasites.

I. DONNÉES EXPÉRIMENTALES ET D'OBSERVATION. — *Intensité des signaux de jour.* — L'intensité dans une antenne réceptrice est donnée par l'expression

$$I_r = K \frac{1}{\lambda d} e^{-\alpha \sqrt{\lambda}}, \quad (1)$$

où λ est la longueur d'onde, d la distance de la station émettrice, $e = 2,718...$ et α est une constante appelée le coefficient d'absorption. Des mesures quantitatives faites par Austin et d'autres auteurs, ont montré que les signaux émis pendant le jour suivent cette loi à moins de 50 pour 100 près environ, surtout dans le cas des grandes longueurs d'onde (plus de 1 000 mètres). Les variations du courant reçu dépendent des variations du coefficient d'absorption α . Cette valeur du courant reçu est un minimum pour la transmission au-dessus de l'océan, et varie grandement sur terre, probablement selon la nature du sol au-dessus duquel les ondes se déplacent.

On a remarqué que les bâtiments des villes arrêtent les ondes courtes. On a également constaté que les ondes tendent à suivre l'eau, les rivières, par exemple, et qu'elles atteignent ainsi de plus grandes distances le long des côtes qu'à l'intérieur des terres. Les Alpes et les autres montagnes arrêteraient beaucoup les signaux émis pendant le jour, mais peu ceux émis pendant la nuit.

L'intensité des signaux reçus d'une station émettrice donnée varie beaucoup de jour en jour. De très grandes ondes, telles que celles de la station Lafayette en France, varient tout autant d'un jour à l'autre que du jour à la nuit.

Pour les petites distances, le facteur contenant le coefficient d'absorption dans l'équation (1) est presque égal à l'unité. Pour ces distances (jusqu'à 300 kilomètres dans certains cas), les intensités des signaux pendant le jour et pendant la nuit sont à peu près les mêmes, tout au moins sur mer, d'après Austin. Dans le cas des transmissions faites entièrement sur mer, l'affaiblissement momentané ou « fading » est très faible.

Le facteur d'absorption se rapproche de l'unité quand la longueur d'onde augmente. Aussi pour une distance donnée les grandes ondes sont-elles moins absorbées que les courtes.

Intensité et affaiblissement momentané des signaux de nuit. — L'intensité moyenne d'un signal est beaucoup plus grande la nuit que le jour, et l'affaiblissement momentané ou « fading » est plus marqué la nuit; ces deux particularités sont d'autant plus prononcées que la longueur d'onde est plus courte. On peut ainsi réaliser de nuit des distances anormales au moyen de courtes longueurs d'onde, même avec de très faibles puissances.

On distingue trois sortes d'affaiblissement momentané : 1° l'un ayant une période de l'ordre d'une seconde ou moins; 2° l'autre ayant une période de l'ordre d'une minute; 3° le dernier ayant une période de l'ordre d'une heure.

Des signaux d'une station émettrice donnée peuvent être reçus avec un affaiblissement momentané très fort par certaines stations et avec un très petit affaiblissement par d'autres. Certaines stations émettrices sont entendues très

(1) I. H. DELLINGER et L. E. WHITEMARE. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 4 juin 1921, t. XI, p. 245-259, 6000 mots, 1 fig.

bien par plusieurs stations réceptrices et dans toutes les directions certains soirs, et par très peu de stations réceptrices ou dans une seule direction certains autres soirs. Une station réceptrice donnée « entend » ordinairement certaines stations émettrices avec un petit affaiblissement et d'autres avec un fort affaiblissement.

Une transmission effectuée entièrement sur l'eau (la station émettrice et la station réceptrice étant toutes deux loin des terres) ne subit que peu d'affaiblissement, tandis qu'une étroite bande de terre suffit pour le rendre notable.

Les signaux de grande longueur d'onde, jusqu'à 23 500 m, n'offrent qu'une faible variation d'intensité. Il n'y a que peu ou pas de différence entre l'« affaiblissement » des ondes entretenues et celui des ondes amorties, quelle que soit la longueur d'onde.

Parasites. — Les parasites sont plus intenses en été qu'en hiver, et pendant la nuit que pendant le jour. Il sont plus forts et plus fréquents sous les tropiques que sous les latitudes tempérées.

Dans un endroit donné, la plupart des parasites viennent d'une direction déterminée. Ils sont beaucoup moins fréquents au milieu de l'océan que près des côtes, de jour comme de nuit. Le passage des conditions de jour aux conditions de nuit est beaucoup plus bref sur mer que sur terre.

Direction des signaux. — En un même point on observe des variations dans la direction d'où semblent provenir les signaux émis par une station donnée; ces variations ne s'observent qu'aux grandes longueurs d'onde, et elles sont surtout prononcées dans le cas des ondes entretenues. Elles sont plus marquées de nuit que de jour. Pour $\lambda = 15\,000$ m, on observe la nuit des changements de direction très grands (pouvant atteindre 90° en moins d'une demi-heure), tandis que les changements observés de jour sont très faibles (rarement plus de 10°).

Au moment de ces variations, les minima sont à peu près impossibles à observer. Ces minima sont moins nets de nuit que de jour.

Ces changements de direction sont très petits aux très courtes distances de la station émettrice, grands aux moyennes distances, et de nouveau petits aux très grandes distances.

Echerley suppose que les ondes sont réfractées en passant de la mer à la terre, et inversement. Les signaux qui ne passent que sur l'eau ne donnent lieu à aucune erreur de relèvement.

Effets du lever et du coucher du soleil. — On observe, au lever et au coucher du soleil, de grandes variations dans l'intensité des signaux de n'importe quelle longueur d'onde. De telles variations sont surtout sensibles quand la transmission se fait dans une direction Est-Ouest.

On a remarqué qu'au lever et au coucher du soleil, les ondes plus courtes ont l'avantage sur les ondes plus longues pour les communications à travers l'Atlantique.

Au lever ou au coucher du soleil, l'intensité des signaux sur les grandes longueurs d'onde devient anormalement grande. Au lever du soleil les signaux de faible longueur d'onde émis par des stations éloignées, deviennent simplement plus constants pendant un moment, avant de devenir subitement inaudibles.

Effets de l'époque de l'année. — Les signaux des stations éloignées sont beaucoup plus forts les nuits d'hiver que les nuits d'été. Les signaux sont moins forts au printemps.

Les parasites sont beaucoup moins fréquents et moins intenses en hiver qu'en été.

Effet des éclipses. — La présence d'une éclipse semble améliorer les signaux.

Effets de l'électricité atmosphérique, du magnétisme terrestre, de l'activité solaire. — Contrairement à la télégraphie avec fils, les aurores n'ont que très peu d'effet sur les signaux radiotélégraphiques, sauf peut-être dans le cas des faibles longueurs d'onde.

La conductivité de l'atmosphère est quelque peu plus grande de nuit que de jour. La conductivité atmosphérique décroît et le gradient de potentiel augmente au niveau du sol au lever et au coucher du soleil.

Sur mer la conductivité électrique de l'air varie moins et est plus uniforme d'un jour à l'autre que sur terre.

Discontinuités dans l'espace et dans le temps. — On a constaté que certaines stations ont beaucoup de difficultés à établir des communications avec d'autres stations très proches, alors qu'ils communiquent aisément avec des stations très éloignées. Les stations dans le voisinage de Boston, Massachusetts, en fournissent un exemple.

Il existe sur mer des zones de silence où l'on n'entend pas les signaux de certaines stations, ces zones sont situées d'ordinaire le long des côtes ou entre deux masses terrestres.

Certaines stations côtières ne peuvent pas recevoir certains signaux alors que des stations à l'intérieur des terres les reçoivent.

Des stations éloignées de moins d'un kilomètre peuvent différer complètement quant à l'intensité des parasites observés et à l'intensité des signaux reçus d'une station émettrice donnée.

Effets météorologiques. — C'est surtout par temps nuageux, ou au lendemain d'un temps nuageux que la nuit est bonne au point de vue réception des signaux, c'est-à-dire que les signaux sont forts et les parasites faibles. L'affaiblissement momentané (« fading ») n'est cependant pas affecté par les nuages.

On a cherché s'il y avait une corrélation entre les conditions météorologiques et radiotélégraphiques, mais on n'a rien trouvé de certain.

Indirectement les conditions météorologiques telles que la température, la convection, etc., à la surface de la terre, peuvent affecter quelque peu la régularité de la surface limitant la couche d'Heaviside, et peuvent ainsi occasionner des parasites nocturnes et la disparition des signaux. Par exemple, la différence de température entre la terre et la mer peut causer un effet s'étendant à une grande hauteur dans l'air.

L'effet des conditions météorologiques sur l'isolement de l'antenne et la résistance du sol est particulièrement important dans la transmission de jour. L'effet de la température sur l'ionisation et les limites des régions ionisées de l'atmosphère supérieure est, au contraire, plus marqué la nuit.

II. DISCUSSION ET EXPLICATION DE CES PHÉNOMÈNES. — La complexité de ces phénomènes est telle qu'il est difficile de trouver une explication convenant à la fois à toutes les observations. Cependant un grand nombre de ces phénomènes correspondent bien à l'explication que nous allons en donner.

Transmission de jour. — Ce sont les ondes qui se déplacent le long de la surface de la terre, et non celles de l'atmosphère supérieure, qui sont utilisées de jour. Ce fait est indiqué par l'équation (1) donnée précédemment et dans laquelle le coefficient d'absorption α varie avec la nature de la surface sur laquelle s'effectue la transmission. Ce coefficient est minimum pour l'eau de mer.

Pour les courtes distances, les ondes courtes donnent les plus forts signaux, l'absorption étant négligeable. Pour les grandes distances, de jour, les grandes ondes sont à préférer, car le facteur d'absorption l'emporte et limite la transmission au moyen d'ondes courtes.

Pendant le jour, les ondes qui pénètrent dans l'atmosphère supérieure peuvent être considérées comme étant entièrement absorbées par les régions supérieures ionisées, connues sous le nom de stratosphère. Aussi l'intensité des ondes émises dépend-elle des conditions du sol.

Les rayons ultra-violet extrêmes du soleil ionisent l'air, mais ces rayons sont entièrement absorbés pendant leur pénétration dans l'atmosphère supérieure. De jour, l'ionisation des couches supérieures est donc beaucoup plus grande qu'aux plus faibles hauteurs. Fleming déclare que la conductivité de l'air près de la surface terrestre est 100 000 fois trop petite pour expliquer l'absorption observée. L'ionisation des couches supérieures, cependant, est telle qu'il est probable que les ondes qui pénètrent, de jour, dans les couches élevées de l'air, sont totalement absorbées, et que l'absorption observée à une station réceptrice donnée doit être expliquée par les pertes dans le sol, mauvais conducteur lui-même.

Transmission de nuit. — Les ondes courtes qui sont entendues de nuit à grande distance doivent se déplacer détachées de la surface terrestre, car le long de cette surface ces ondes sont fortement absorbées. Il est probable qu'elles atteignent une surface élevée de l'atmosphère tellement ionisée que sa conductivité électrique est de beaucoup supérieure à celle de la surface terrestre, ce qui explique leur faible absorption.

L'idée d'une couche supérieure conductrice entre laquelle et la surface de la terre se propageraient les ondes électriques, date de 1893 (Fitzgerald). Elle a été reprise et développée en 1900 par Heaviside. Des considérations en majeure partie indépendantes des phénomènes radioélectriques suggèrent la structure et les limites suivantes de l'atmosphère (fig. 1) :

- 1° La surface de la terre, conducteur médiocre ;
- 2° La troposphère d'environ 10 km d'épaisseur et où se

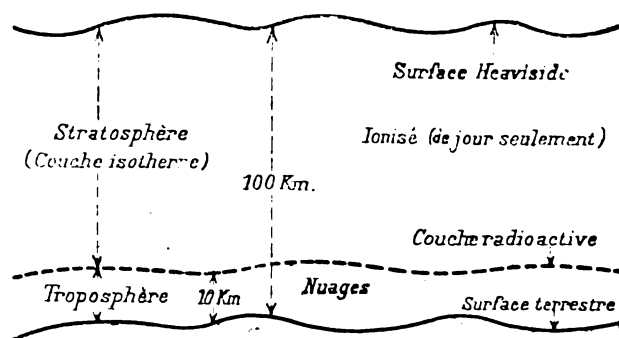


Fig. 1.

trouvent les causes de nos phénomènes météorologiques ; on y rencontre une atmosphère semblable à celle que nous respirons ;

3° Une couche radioactive séparant la troposphère de la région supérieure (L'existence de cette couche n'est pas aussi bien établie que les autres, et son existence n'est pas aussi intéressante au point de vue de l'explication des phénomènes radioélectriques) ;

4° La stratosphère, ou couche isotherme, ayant une épaisseur d'environ 100 km. La stratosphère est ionisée de jour, mais perd rapidement cette propriété par la recombinaison des ions la nuit.

5° La surface d'Heaviside constamment ionisée et constituant un conducteur presque parfait.

La région constamment ionisée située au-dessus de la surface d'Heaviside est la région des aurores permanentes. Elle

est si bonne conductrice que les ondes ne peuvent pas y pénétrer. Les ondes qui l'atteignent ne font que glisser dessus, comme elles glissent le long de la surface moins conductrice de la terre.

Il semble exact de supposer que la transmission de jour s'effectue principalement le long de la surface de la terre, aucune onde ne pouvant atteindre la surface d'Heaviside à cause de la stratosphère ionisée ; au contraire, de nuit, les ondes atteignent la surface d'Heaviside et glissent le long de cette surface sans absorption appréciable.

Si ceci est vrai, les ondes doivent atteindre des distances énormes la nuit, les ondes courtes se propageant plus loin que les grandes ondes. A cause de l'absorption variable qui peut être introduite par les irrégularités de la surface Heaviside et des régions voisines, l'intensité des ondes peut varier très rapidement. De faibles irrégularités affecteront davantage les ondes courtes que les ondes longues ; par suite, les ondes courtes subiront davantage l'effet d'affaiblissement momentané (fading). Ces conclusions sont en plein accord avec les faits.

Le relativement faible « fading » des grandes longueurs d'onde est dû en partie au fait que la transmission s'effectue le long du sol.

Nous ne suivrons pas les auteurs dans leur étude des phénomènes dont nous avons signalé précédemment l'existence : parasites, changement de la direction des signaux, effets du lever et du coucher du soleil, effet de l'époque de l'année, effets de l'électricité atmosphérique, du magnétisme terrestre et de l'activité solaire, discontinuités...

De cette étude ils concluent que les causes du « fading » et des parasites se trouvent dans l'atmosphère comprise entre la surface du sol et la surface Heaviside. Cependant, l'origine de ces causes doit être recherchée sous le sol ou à l'extérieur de l'atmosphère terrestre.

En résumé : la transmission de jour s'effectue entièrement au moyen d'ondes se déplaçant le long du sol. La transmission de nuit, surtout pour les grandes distances et les courtes longueurs d'onde, s'effectue, au contraire, au moyen d'ondes transmises le long de la surface Heaviside. Les ondes courtes sont donc exemptes, la nuit, de l'absorption à laquelle sont sujettes les ondes émises de jour. Par contre, elles sont exposées à de grandes variations dues aux irrégularités de la surface Heaviside et aux masses absorbantes d'air plus ou moins ionisé sur ou près de cette surface. Ces variations expliquent le « fading ». — G. M.

Lignes étalon pour les mesures relatives aux effets d'induction provoqués par les courants téléphoniques dans une canalisation à circuits multiples ⁽¹⁾.

Dans un câble à double circuit, par exemple, les courants téléphoniques circulant dans l'une des lignes provoquent des phénomènes d'induction dans la ligne adjacente, et, de ce fait, en même temps que s'effectue la conversation sur la ligne en service, une autre conversation s'établit simultanément sur la ligne voisine.

Les dispositifs permettant de mesurer l'intensité des effets provenant de cette cause, et dont il importe évidemment de réduire l'importance au minimum, sont utilisés, dans la pratique, non seulement pour se renseigner sur la valeur que possède, à cet égard, une installation donnée, mais, encore, pour déterminer l'efficacité des appareils

(1) K. KÜPFMÜLLER, *E. T. Z.*, 22 décembre 1921, t. XLII, p. 1482-1484, 2 500 mots, 11 fig.

divers susceptibles d'être employés pour s'opposer, avec plus ou moins de succès, aux perturbations du genre signalé.

La méthode la plus commode, applicable dans ce dernier cas, est celle dite de la détermination de l'affaiblissement par comparaison, en faisant usage d'une ligne étalon.

L'auteur étudie, d'abord, le système de ligne étalon le plus courant qui est constitué par des résistances ohmiques choisies indépendamment des résistances apparentes des lignes soumises aux essais; il montre que ce dispositif ne peut pas conduire à des mesures absolues de l'affaiblissement et il calcule l'expression de l'élément de correction correspondante. Ce n'est pas là d'ailleurs le seul inconvénient du système qui ne permet d'opérer pratiquement qu'avec des courants de forme sinusoïdale.

La ligne étalon proposée par Breisig, qui utilise des condensateurs au lieu de résistances, fonctionne, au contraire, très bien, avec les courants ordinaires d'un circuit microphonique; mais, la mesure de l'affaiblissement ne peut être faite directement sur l'appareil.

Le dispositif, finalement décrit par l'auteur, résout toutes les difficultés signalées, tout au moins lorsqu'il s'agit de câbles de longueur assez courte par rapport à la longueur d'onde des courants téléphoniques de la conversation ordinaire. A condition de faire deux lectures avec des connexions modifiées, ce dispositif est applicable, au reste, dans le cas où les deux lignes s'influencent mutuellement possèdent des capacités différentes. La théorie du fonctionnement du système qui repose, comme celui de Breisig, sur l'emploi de condensateurs est donnée dans le détail, ainsi qu'un schéma de construction de l'appareil.

Avec des câbles de grande longueur ou des canalisations chargées avec des bobines Pupin, les courants téléphoniques ordinaires ne peuvent plus être utilisés pour les essais; mais il est possible, en se basant sur le même principe, d'établir une ligne étalon sans distorsion, constituée par des résistances au lieu de condensateurs et fonctionnant avec des courants de forme sinusoïdale. L'article n'indique qu'un schéma de réalisation de ce dispositif, la théorie devant être donnée ultérieurement. — L. D.

Considérations théoriques sur le problème de la construction des galeries sous pression ⁽¹⁾.

L'auteur cite le cas de la traversée du fleuve Hudson, en Amérique, comportant des galeries qui ont été essayées à des pressions respectives de 450 et 260 m d'eau; la première est restée intacte tandis que la deuxième a présenté des fissures dans le revêtement de béton. Ce revêtement avait pourtant été effectué sous une pression de 6 à 21 atmosphères. Pour la galerie du lac de Ritom, en Suisse, on a fait des injections de mortier à 4,4 kg : cm². Pour celle de la centrale d'Albertville sur le Doron, on a constaté des fissures à la pression de 8 atmosphères. Sur la galerie de Sand-Creek, près de Los Angeles, qui est forcée dans le granit, bien que les injections de ciment aient été faites à 14 atmosphères, il s'est formé, sous la pression de 140 m d'eau, tant de crevasses qu'on a dû remplacer la galerie par une conduite métallique. Enfin, à la centrale de la Biaschina, sous la pression de 18 atmosphères, il s'est produit de nombreuses fissures qui ont pu finalement être bouchées par des applications de jute goudronné. L'auteur s'autorise de ces précédents et de plu-

sieurs autres, qu'il cite également, pour exposer une méthode de calcul dans laquelle il fait intervenir les modules d'élasticité E_1 et E_2 du béton et de la roche qui l'entoure, leurs coefficients de Poisson respectifs m_1 et m_2 , et enfin le rap-

port $k = \frac{d_2}{d_1}$ des diamètres moyens extérieur et intérieur du revêtement de béton pour les galeries circulaires. En envisageant encore σ le taux de contrainte maximum du béton, exprimé en kilogrammes par centimètre carré et p la pression

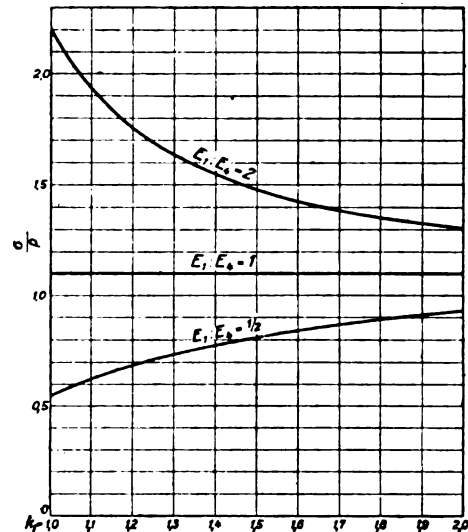


Fig. 1. — Variations du coefficient $\frac{\sigma}{p}$ d'une conduite en béton en fonction du rapport k des diamètres.

de service, la figure ci-jointe montre comment varie le rapport $\frac{\sigma}{p}$ en fonction du rapport k pour différentes valeurs du rapport $\frac{E_1}{E_2}$ des modules d'élasticité.

Le tableau suivant donne les facteurs $\frac{\sigma}{p}$ et σ tout calculés pour des épaisseurs diverses de galeries sous pression :

| ÉPAISSEUR en cm | k | $\frac{\sigma}{p}$ | | | σ | | |
|--------------------|-------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| | | $\frac{E_1}{E_2} = 2$ | $\frac{E_1}{E_2} = 1$ | $\frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{2}$ | $\frac{E_1}{E_2} = 2$ | $\frac{E_1}{E_2} = 1$ | $\frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{2}$ |
| 20 | 1,114 | 1,90 | 1,10 | 0,63 | 13,3 | 7,7 | 4,4 |
| 30 | 1,171 | 1,79 | 1,10 | 0,66 | 12,5 | 7,7 | 4,6 |
| 40 | 1,229 | 1,71 | 1,10 | 0,70 | 12 | 7,7 | 4,9 |
| 50 | 1,286 | 1,65 | 1,10 | 0,73 | 11,5 | 7,7 | 5,1 |
| 60 | 1,343 | 1,59 | 1,10 | 0,75 | 11,1 | 7,7 | 5,3 |
| 70 | 1,400 | 1,54 | 1,10 | 0,78 | 10,8 | 7,7 | 5,5 |
| 80 | 1,457 | 1,50 | 1,10 | 0,80 | 10,5 | 7,7 | 5,6 |

On voit que les coefficients $\frac{\sigma}{p}$ et σ se rapprochent asymptotiquement de deux valeurs limites constantes, correspondant à l'égalité des coefficients d'élasticité du béton et de la roche, ce qu'il était facile de prévoir a priori. — J. C.

⁽¹⁾ L. MÜHLHOFER. *Schweizerische Bauzeitung*, 19 novembre 1921, t. LXXVIII, p. 245-249, 5 500 mots, 5 fig.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Les prescriptions au profit du Trésor

L'auteur examine comment s'exercent les prescriptions des coupons, valeurs, dépôts et comptes courants en banque au profit du Trésor, tels que la loi de finances de 1920 et les pratiques de l'Administration des Contributions directes les organisent.

On sait que l'article 111 de la loi de finances du 25 juin 1920 attribue à l'Etat les coupons, dividendes, valeurs diverses, atteints par la prescription quinquennale; il y ajoute au profit de l'Etat une prescription spéciale analogue des dépôts en banque et comptes courants.

Cette disposition nouvelle, d'un intérêt pratique considérable, a déjà été mise en lumière par de nombreux commentateurs, notamment par M. R. Narrot dans « L'Information » du 23 juin 1921; par M. Bozard-Falgas dans le « Droit financier » de juillet 1921; par le professeur Wahl dans le « Journal des Sociétés » de septembre 1921; par M. Auger dans le « Recueil juridique des Sociétés » de novembre 1921; par M. H. Guérard dans la « Revue des Sociétés » de janvier 1922, etc.

Il ne semble pas inutile de profiter du recul relatif, acquis depuis la mise en vigueur de ces dispositions, et de l'interprétation déjà donnée par l'administration, pour revenir sur ce sujet, qui intéresse l'universalité des épargnants.

I. Coupons et dividendes. — L'article 111 fait bénéficier l'Etat (exception faite pour les sociétés d'habitation à bon marché) tout d'abord de deux catégories de biens : 1° le montant des coupons, intérêts ou dividendes atteints par la prescription quinquennale et afférents à des actions ou à des obligations négociables émises par toute société commerciale ou civile ou par toute collectivité soit privée, soit publique; 2° les actions, parts de fondateurs, obligations et autres valeurs mobilières des mêmes sociétés ou collectivités, lorsqu'elles sont atteintes par la prescription trentenaire ».

L'effet de la loi nouvelle est de faire bénéficier l'Etat, et non plus les sociétés, des valeurs prescrites.

Sont soumises au transfert à l'Etat, du bénéfice, des prescriptions quinquennales et trentenaires, toutes les sociétés ou collectivités privées ou publiques (départements, communes, établissements publics, associations) qui ont émis des valeurs négociables. Des valeurs négociables émises par un particulier ne seraient pas assujetties à la loi, pas plus que ne le seraient des valeurs émises par une société, mais non négociables.

Outre l'exception prévue au texte, l'instruction de la

régie écarte du domaine de la loi : les valeurs mobilières étrangères, qu'elle considère comme situées à l'étranger et qui échappent à ce titre à l'application du droit de souveraineté de l'Etat français.

En ce qui concerne la prescription des coupons et dividendes, l'Etat se substitue purement et simplement aux collectivités émettrices dans le bénéfice des droits découlant de l'article 2277 du Code civil; le nouveau texte consacre la jurisprudence, qui assimilait les dividendes aux prestations périodiques accessoires d'une créance, malgré leur incertitude. Les établissements étaient déchargés de leur dette si les coupons n'étaient pas présentés au paiement dans le délai de cinq ans, si dans le même délai les intérêts ou dividendes n'étaient pas réclamés. Or, l'Etat se substituant à la collectivité en tant que bénéficiaire de la prescription, ne saurait avoir plus de droits que n'en avait la collectivité elle-même; en conséquence, toutes les clauses interruptives ou suspensives des prescriptions énumérées par le Code civil, qu'elles émanent, soit du créancier qui veut arrêter la prescription, soit du débiteur par une reconnaissance de dette, doivent être observées.

A ces causes générales l'instruction de la régie ajoute un certain nombre de causes particulières, notamment l'opposition, régulièrement faite par l'ayant droit à la suite de la perte de son titre ou pour toute autre cause, entre les mains de son débiteur; le cas encore où les valeurs mobilières et coupons ont été saisis au cours des hostilités par le contrôle postal militaire; enfin, les cas où les coupons ont été payés à vue pour le compte de la société débitrice par ses correspondants financiers.

Bien entendu le créancier, qui a perdu son titre et fait opposition, ne saurait bénéficier de la suspension, s'il a obtenu du président du tribunal l'autorisation de toucher sur caution les revenus dudit titre.

La loi du 25 juin 1920 ne porte pas atteinte aux dispositions du décret du 10 août 1914 et de la loi du 4 juillet 1915 prorogeant les délais de prescription. L'instruction de la régie et une réponse du ministre des Finances (*Journal officiel*, 23 mars 1921) prescrivent de combiner les dispositions du texte nouveau avec celles des décrets moratoires et fixent dans les diverses hypothèses possibles résultant de la date de

l'échéance des coupons avant, pendant ou postérieurement aux hostilités, la date d'échéance du délai de prescription.

Enfin les articles 7 et 8 de la loi du 16 juillet 1921, relative à l'établissement d'un régime transitoire pour la perception des impôts dans les régions libérées, font bénéficier de certaines prérogatives les habitants des régions occupées.

II. Valeurs diverses. — Le délai de prescription pour les valeurs détenues par ces personnes, ainsi que pour les valeurs dépendant de successions dans lesquelles ces mêmes personnes sont intéressées a été prorogé jusqu'au 1^{er} janvier 1922. Il en est de même pour les détenteurs de coupons de valeurs mobilières émises par des collectivités ayant leur siège en pays envahi, ainsi que pour les détenteurs de coupons déposés dans un établissement situé en territoire envahi.

En ce qui concerne la renonciation au bénéfice de la prescription, plus d'accommodements possibles avec les sociétés; celles-ci doivent, dès l'expiration des délais, remettre au Domaine le montant des sommes prescrites, auxquelles l'Etat ne peut renoncer, puisqu'il s'agit, dans la théorie des auteurs de la loi, de biens domaniaux, et que toute transaction est interdite en cette matière.

Quant à la prescription concernant les sociétés ou collectivités, déclare l'exposé des motifs, « étant en droit d'exciper de la prescription pour le capital des mêmes valeurs après trente années écoulées depuis la délivrance des titres sans réclamations des ayants droits », l'Etat se substitue à la société pour profiter de la prescription.

Mais, simplement substitué à la société, il n'a d'autres droits, que ceux que pouvait invoquer la société et ne pourra prescrire là où la société était impuissante à le faire; d'où cette première conséquence, que la prescription ne peut courir, comme le déclare l'exposé des motifs, depuis la délivrance du titre, mais seulement à dater du jour où le créancier a pu valablement faire valoir ses droits au remboursement, c'est-à-dire à dater de l'échéance.

Pour les titres d'actions amorties, l'Etat pourra réclamer le capital de l'actionnaire, qui sera durant trente années resté dans l'inaction, à dater de l'amortissement.

Mais, pour tous les autres titres non amortis, ils ne seront pas susceptibles de prescription; l'actionnaire vis-à-vis de la société est avant tout un associé et son droit est imprescriptible tant que ne sont pas intervenus la dissolution de la société, sa liquidation et le partage de son actif. L'actionnaire, bénéficiant d'une action de jouissance, se trouve dans le même cas; il demeure associé.

Pour ce qui touche les parts de fondateur, celles-ci ne peuvent se prescrire tant que l'assemblée générale n'en a pas décidé le rachat.

Tout naturellement l'Administration des Finances a

tenté de tirer de la loi tout ce qu'elle a pu au profit de l'Etat. Le droit d'application, l'instruction et la pratique des agents de l'administration, ont tenté d'étendre la portée de la loi; d'après eux, l'Etat, après trente ans d'inaction du détenteur du titre d'action, non seulement pourrait s'approprier le capital, mais encore deviendrait propriétaire du titre lui-même. L'actionnaire perdrait sa qualité d'associé dans laquelle il se verrait substitué par l'Etat, au domaine de qui le décret et l'instruction prévoient la remise du titre ou d'un duplicata.

Cette prétention a soulevé des critiques nombreuses et, semble-t-il, justifiées. Il paraît certain que seuls sont accaparés les biens susceptibles de prescription. Les actions et parts de fondateur n'en étant pas susceptibles en droit commun, les dispositions du décret et de l'instruction qui s'y réfèrent leur sont inapplicables. Mais par contre seront considérées comme prescrites toutes les valeurs qui n'auront fait l'objet de la part des ayants droit d'aucune opération; par exemple, le paiement des coupons, le transfert. Ces valeurs devront être remises au fisc ainsi que les sommes provenant des répartitions, rachats, remboursements, lots et primes.

III. Dépôts en banque et comptes courants. — La loi du 25 juin 1920 atteint en outre une troisième catégorie de biens: les dépôts de sommes d'argent effectués dans les banques.

« Sont définitivement acquis par l'Etat, ajoute l'article 111;

« 3° Les dépôts des sommes d'argent et, d'une manière générale, tous avoirs en espèces dans les banques, les établissements de crédit et tous autres établissements, qui reçoivent des fonds en dépôt ou en compte courant, lorsque ces dépôts ou avoirs n'ont fait l'objet, de la part des ayants droit, d'aucune opération ou réclamation depuis trente années. »

Ce texte atteint tous les dépôts faits dans un établissement, qui reçoit des dépôts ou ouvre des comptes courants, que l'établissement appartienne à un individu ou à une collectivité. Il s'étend à tous les dépôts, que ceux-ci aient été faits par des étrangers ou par des nationaux. Il crée au profit de l'Etat une prescription spéciale.

Le législateur, pour justifier son nouveau mode d'acquisition, a recherché les précédents et présenté la nouvelle mesure comme une simple extension de la loi du 16 avril 1897, qui ordonnait la remise à l'Etat des sommes déposées à la Caisse des Dépôts et Consignations, lorsque les sommes en compte n'avaient été l'objet d'aucune opération ni réclamation dans un délai de trente ans.

Mais, comme il a été admis que la prescription ne profitait à l'Etat qu'autant qu'elle eût profité aux établissements débiteurs, et la loi n'ayant pas d'effet rétroactif, les sociétés ne sont pas recherchées pour le bénéfice des prescriptions par elles définitivement acquises avant le 26 juin 1920. Elles ne devront à

l'Etat que le montant des coupons, les titres pour lesquels la prescription était en cours ou expirait à la date de la promulgation de la loi. L'Etat se substitue alors à l'établissement débiteur pour continuer à sa place la prescription.

Au contraire, pour les dépôts et comptes courants, le législateur estimant que la prescription étant interdite aux établissements débiteurs, ceux-ci n'ont jamais pu prescrire à leur profit, croit pouvoir, sans léser aucun droit acquis, régulièrement s'approprier le montant de tous les dépôts pour lesquels aucune opération, aucune réclamation n'ont été faites depuis trente ans au moins. L'instruction déclare que « les remises à faire au Domaine par les banques et autres établissements assujettis devront comprendre pour la première fois tous les dépôts abandonnés depuis trente, quarante, cinquante ans et plus ».

L'article 111 prescrit également que « les agents de l'Enregistrement, des Domaines et du Timbre, ont droit de prendre communication, au siège des banques, établissements ou collectivités, visés au présent article ou dans les agences et succursales, de tous registres, délibérations et documents quelconques pouvant servir au contrôle des sommes ou titres à remettre à l'Etat. »

Le décret et l'instruction prescrivent comment les établissements devront procéder pour effectuer les versements, les dates auxquelles devront être faites les remises trimestrielles, ainsi que les relevés qui doivent y être joints. Ces relevés, destinés à permettre le contrôle, doivent, d'après l'instruction, faire ressortir, suivant le cas :

« 1^o La désignation précise détaillée des coupons, intérêts et dividendes compris dans le versement; l'indication de leur montant, la date de leur exigibilité, ainsi que la date de l'échéance de la prescription quinquennale;

« 2^o La désignation précise et détaillée des titres ou duplicata remis au Domaine, l'indication de leur valeur

nominale, la nature et la date de la dernière opération, dont les titres ont fait l'objet, ainsi que la date d'échéance de la prescription, ou, s'il s'agit de titres amortis ou ayant bénéficié de répartitions, lots, primes de quelque nature que ce soit, la désignation précise et détaillée de ces titres, le montant et la date d'exigibilité des sommes, lots, primes et autres produits y afférents, la nature et la date de la première opération, dont ils ont fait l'objet, ainsi que la date d'échéance de la prescription.

« 3^o Le nom et la qualité du déposant ainsi que la nature et le montant des dépôts ou avoirs en espèces versés au Domaine, la date de la dernière opération, dont ils ont fait l'objet et la date d'échéance de la prescription ».

IV. Sanctions. — Enfin l'article 111 termine par l'exposé des pénalités encourues :

« Toute contravention aux dispositions du présent article ou du règlement d'administration publique prévu au paragraphe précédent sera punie d'une amende de 100 à 5000 fr augmentés, le cas échéant, d'une somme égale au montant des coupons, intérêts, dividendes, dépôts ou avoirs, ou à la valeur nominale des titres, pour le versement ou la remise desquels une omission, une dissimulation ou une fraude quelconque aura été commise au préjudice de l'Etat par la société, la collectivité ou l'établissement intéressé ».

Ces dispositions, avons-nous dit, ont donné lieu à de nombreuses critiques, elles ont été trouvées excessives et sans portée pratique.

Quoi qu'il en soit, c'est la loi : *dura lex, sed lex*. Il faudra bien s'y conformer, en attendant que l'expérience, confirmant les premières applications, donne raison aux critiques.

FERNAND-JACQ.

Docteur en droit,

Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Assemblées générales

Revue générale de l'Électricité.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 13 MAI 1921.

Au point de vue technique, l'importance de la Revue a continué à s'affirmer au cours de l'exercice 1921. Par les fascicules qui ont été successivement ajoutés à ceux qu'elle contenait primitivement, ses lecteurs sont tenus au courant, non seulement des travaux sur l'électricité effectués ou publiés en France et à l'étranger, mais encore des questions techniques et économiques qui préoccupent les divers groupements de l'industrie électrique : Union des Syndicats de l'Électricité, Syndicat professionnel des Industries électriques, Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique, Chambre syndicale des Constructeurs de gros Matériel électrique, Société hydrotechnique de France, etc.

La Revue a pris également une part active à l'organisa-

tion de la manifestation en l'honneur du Centenaire des Découvertes d'Ampère qui a eu lieu à la Sorbonne, le 24 novembre 1921, sous la présidence de M. Alexandre Millerand, Président de la République, et en présence des délégués étrangers réunis à Paris pour prendre part à la Conférence internationale des grands réseaux électriques, organisée par l'Union des Syndicats de l'Électricité. Un numéro de la « Revue générale de l'Électricité » sera consacré spécialement à rappeler combien l'œuvre d'Ampère a été féconde. Ce numéro contiendra non seulement les discours qui ont été prononcés à la Sorbonne par MM. Daniel Berthelot, P. Appell, P. Janet, R. Logouez, P. Boucherot, Mailloux (représentant des délégués étrangers comme président de la Commission électrotechnique internationale), Yves le Trocquer, ministre des Travaux publics et par M. le Président de la République, mais aussi les articles que, sur la demande de notre directeur, MM. Appell, Boucherot, Brillouin, Gouy,

de Launay, Pérol, Pomey, etc., avaient bien voulu nous adresser sur l'œuvre d'Ampère ; dans une troisième partie, MM. Tribot-Laspière, Duval et Lavanchy, Tochon montreront le développement qu'a acquis l'industrie électrique française cent ans après les premiers travaux d'Ampère sur l'électromagnétisme et l'électrodynamique. Des difficultés matérielles ont empêché jusqu'ici de faire paraître ce numéro spécial ; toutefois sa publication ne saurait maintenant tarder.

Le nombre des abonnés augmente et le montant des ressources fourni par la publicité se développe d'une façon régulière.

Durant l'exercice, les recettes se sont élevées à 905 368,31 fr ; les dépenses, comprenant les frais généraux, les dépenses d'exploitation et les amortissements ont atteint 900 842,16 fr. Le solde bénéficiaire ressort à 4 526,16 fr qui, ajouté au report de l'exercice précédent, donne 12 469,02 fr qui sont reportés à nouveau.

Ce résultat est satisfaisant si l'on tient compte que la hausse énorme des prix qui s'est produite au cours de l'année 1920 a eu sa répercussion dans les dépenses du premier semestre de l'exercice 1921. Il confirme l'opinion exprimée l'an dernier : que la Revue ne peut manquer de se trouver en mesure de remplir dans son entier le programme tracé par ses fondateurs dès que la stabilisation de prix se sera affermie.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1921.

| <i>Actif.</i> | |
|---------------------------------------------------|---------------------|
| | fr |
| Apports..... | 10 000 » |
| Frais de constitution..... | 1 » |
| Frais de premier établissement..... | 6 804,10 |
| Mobilier..... | 17 000 » |
| Bibliothèque..... | 12 034,05 |
| Ouvrages, éditions, collections, numéros..... | 1 » |
| Papier en magasin..... | 56 911,30 |
| Portefeuille..... | 149 500 » |
| Caisse, banques, bons de la Défense nationale.... | 459 045,97 |
| Débiteurs divers..... | 309 560,85 |
| | <u>1 100 858,27</u> |

| <i>Passif.</i> | |
|------------------------|---------------------|
| | fr |
| Capital..... | 100 000 » |
| Créditeurs divers..... | 680 389,25 |
| Profits et pertes..... | 12 469,02 |
| | <u>1 100 858,27</u> |

Société avignonnaise d'Electricité.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 12 AVRIL 1922.

L'exploitation du réseau a été assurée dans les meilleures conditions, malgré la sécheresse exceptionnelle qui a sévi pendant l'année 1921 et qui a causé de graves perturbations dans le fonctionnement des usines hydrauliques du fournisseur de courant de la société.

Les recettes ont progressé dans la même proportion que celles des deux années précédentes et se sont élevées, en 1921, à 1 255 519,92 fr contre 836 886,82 en 1920 (1).

Cette augmentation, qui provient pour la plus grande part du développement de la clientèle, a nécessité un achat de matériel assez important, la réfection de lignes anciennes et la construction de lignes nouvelles.

(1) Voir *R. G. E.*, 1921, t. ix, p. 628.

La batterie d'accumulateurs installée l'an dernier a été complétée, ce qui a presque doublé sa capacité, et ce travail, effectué en temps utile, a permis d'atténuer les difficultés d'exploitation pendant la période de restrictions d'énergie occasionnées par la sécheresse exceptionnelle dont il a été parlé.

Dans l'assemblée générale extraordinaire du 24 mars 1921, il avait été décidé que le capital de la société serait porté de 800 000 fr à 1 200 000 fr par l'émission de 4 000 actions nouvelles de 100 fr chacune.

Le Conseil a procédé, dans le courant du mois d'avril, à l'émission de ces actions et l'assemblée générale extraordinaire du 26 mai 1921 a reconnu sincère et véritable la souscription du nouveau capital, de telle sorte que le capital de la société a ainsi été fixé définitivement à la somme de 1 200 000 fr.

Les recettes de l'exercice se sont élevées à 1 255 519,92 fr et les dépenses, y compris les frais généraux d'administration à 946 671,13 fr, laissant un solde créditeur de 308 848,79 fr contre 196 256,23 fr en 1920.

Sur ce solde, il faut déduire : l'intérêt des obligations, 16 020 fr ; l'amortissement de 27 obligations, 13 500 fr ; le solde débiteur du compte « intérêts et divers », 7 326,04 fr. Soit pour l'exercice, un produit de 272 002,65 fr.

Le Conseil propose de doter la « Provision pour amortissements » d'une somme de 70 000 fr.

Le bénéfice net est de 202 002,65 fr, auquel s'ajoute le report de l'exercice précédent, 6 687,08 fr.

Le bénéfice se répartit :

5 pour 100 à la réserve légale, 10 pour 100 de dividende aux 12 000 actions, 10 pour 100 de tantièmes statutaires, 60 000 fr pour affectation à la réserve spéciale.

Le report à nouveau est de 5 399,35 fr.

Le dividende de 10 fr par action sera mis en paiement à partir du 18 avril 1922, contre remise du coupon n° 16, sous déduction des impôts.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1921.

| <i>Actif.</i> | |
|------------------------------------------------|---------------------|
| | fr |
| Frais de constitution..... | 1 » |
| Mobilier et outillage..... | 1 » |
| Apports..... | 120 000 » |
| Frais de premier établissement..... | 69 000 » |
| Dépenses d'installations..... | 2 117 197,75 |
| Approvisionnements..... | 64 028,50 |
| Matériel en location..... | 167 160,30 |
| Caisses et banques..... | 14 508,20 |
| Débiteurs divers..... | 181 676,07 |
| Frais d'émission et prime sur obligations..... | 39 855,60 |
| Comptes divers et d'ordre..... | 6 907,19 |
| | <u>2 781 425,81</u> |

| <i>Passif.</i> | |
|-------------------------------------------------------|---------------------|
| | fr |
| Capital : | |
| 12 000 actions de 100 fr..... | 1 200 000 » |
| Obligations : | |
| 152 obligations (1 ^{re} série) amorties..... | 76 000 » |
| 65 obligations (1 ^{re} série) rachetées..... | 32 500 » |
| 103 obligations (2 ^e série)..... | 51 000 » |
| Reserve légale..... | 31 730,15 |
| Reserve par amortissement d'obligations..... | 107 718 » |
| Provision pour amortissements..... | 530 000 » |
| Créditeurs divers..... | 290 787,95 |
| Profits et pertes..... | 178 689,73 |
| | <u>2 781 425,81</u> |

SECTION DE LÉGISLATION

Un récent arrêt de la Chambre des Lords au sujet de la lampe électrique à incandescence à atmosphère gazeuse

Nous avons signalé dans le numéro du 14 janvier 1922, t. XI, p. 10 B, que, par arrêt du 19 décembre dernier, la Chambre des Lords, statuant comme Cour suprême sur une poursuite en contrefaçon de la British Thomson-Houston Company, Ltd, contre la Corona Lamp Works Company, Ltd, a proclamé la validité du brevet Langmuir sur lequel repose la lampe électrique à atmosphère gazeuse. On trouvera ci-dessous le compte rendu de la discussion générale qui a eu lieu devant la Chambre des Lords ainsi que les arguments produits par les juges pour repousser les griefs de défaut de nouveauté et d'insuffisance de description.

I. Exposé général. — La décision souveraine prise par la Chambre des Lords paraît devoir fixer la jurisprudence : elle est intervenue à la suite de longues procédures, de savantes expertises, de débats d'une ampleur exceptionnelle et il importe de noter que les cinq lords ont été unanimes sur tous les points. Suivant l'usage anglais, chacun des cinq juges y a consigné son avis personnel, chacun, à tour de rôle, reprenant, comme s'il eût été seul et sans souci des redites, l'histoire de l'affaire, l'exposé de la doctrine et de la jurisprudence, l'examen minutieux des arguments invoqués. Le texte ne tient pas moins de 40 pages d'imprimé in-4° sans interlignes ; nous résumerons aussi brièvement et aussi impartialement que possible les cinq avis concordants en relevant sur l'un et l'autre les traits caractéristiques des opinions personnelles.

Les lords ont examiné d'abord les antécédents de la position de la question ; leur documentation peut se résumer comme suit : On sait qu'un filament incandescent placé à l'intérieur d'une ampoule dans un vide élevé émet des radiations lumineuses et des radiations calorifiques et que la perte de puissance qui en résulte doit être compensée par un apport égal dénommé consommation de la lampe. Or, le rendement théorique de la lampe, rapport des quantités d'énergie respectivement transformée en lumière et consommée, varie dans le même sens que la température du filament, mais bien plus rapidement qu'elle ; l'intensité lumineuse d'une lampe, dans les conditions normales d'utilisation, varie comme la onzième puissance de la température, tandis que la consommation totale est proportionnelle à la quatrième puissance. Le rendement théorique pourrait donc être considéré comme une fonction linéaire de la huitième puissance de la température.

Malheureusement, un phénomène nouveau, la « vaporisation » du filament, empêche d'atteindre les hauts rendements que l'emploi de métaux réfractaires per-

mettrait d'espérer. Ce phénomène consiste en une désagrégation des molécules du filament qui viennent se déposer sur l'ampoule ; la diminution de clarté de la lampe et l'affaiblissement du filament réduisent de façon inadmissible la « vie » industrielle de la lampe ; d'où la nécessité de limiter la température d'utilisation du filament à celle où la vaporisation devient sensible.

On n'ignorait pas depuis longtemps que la présence d'un gaz inerte dans l'ampoule, en atténuant et retardant la vaporisation, a pour effet de prolonger la vie de la lampe. Mais, l'application pratique de ce remède n'allait pas sans de gros inconvénients ; s'il ne modifiait pas les pertes par radiations — d'ailleurs inévitables, une partie d'entre elles constituant la lumière — il les aggravait des pertes par conduction à travers la masse gazeuse et par convection dans les tourbillons gazeux. Son emploi était tenu pour prohibitif et les chercheurs étaient découragés au point qu'un seul s'était aventuré à prendre un brevet notable : il n'en a pas été discuté d'autre au cours du procès.

La lampe électrique industrielle à incandescence, après une gestation pénible de quarante années de travaux de laboratoires, avait été mise au monde en 1879 par Edison qui avait inventé successivement l'ampoule scellée en une pièce, le vide intérieur et le filament de charbon.

De même Edison prit, en Angleterre, dans le courant de 1882, au nom de Hartford, le brevet n° 6193, avec l'espoir de « réduire la vaporisation et de permettre ainsi une augmentation de rendement par élévation de température, en introduisant de l'azote ou un gaz analogue, à une pression convenable et exempt d'oxygène et de vapeur d'eau, dans l'ampoule des lampes à filament de carbone ». Il recommandait en outre, « l'emploi d'un filament de faible diamètre pour réduire la surface radiante et augmenter la résistance électrique par unité de surface en vue de compenser la perte supplémentaire due à la présence du gaz ».

L'expérience démontra, de l'aveu même d'Edison, l'inanité pratique de ce brevet. L'importance des pertes par conduction et convection rendait très difficile l'incandescence de la lampe. De plus, le filament carbone est particulièrement impropre à ce genre de lampes; l'azote attaquant le filament le détruisait en produisant du cyanogène qui se dépose sur l'ampoule sous forme de paracyanogène et, d'autre part, la présence du gaz ne procurait qu'un gain infime, la vaporisation du carbone augmentant très rapidement à partir de la température à laquelle elle se manifeste.

L'échec fut si complet que les techniciens considérant désormais la question comme insoluble ne tentèrent plus, pendant les trente années suivantes, que de vains essais de vérification.

Le seul perfectionnement d'importance réalisé au cours de cette longue période consistait dans le remplacement du carbone par le tungstène. Le filament soit droit, soit bobiné dans quelques cas particuliers, était toujours placé dans un vide que l'on s'efforçait de rendre aussi parfait que possible.

C'est alors que Langmuir inventa le procédé qui fait l'objet du brevet actuellement en litige et qui a été pris par la British Thomson-Houston en 1913; il était parvenu à profiter des avantages dus à la présence du gaz dans l'ampoule, grâce à la découverte du principe suivant: si les pertes par radiation — et par conséquent la puissance lumineuse de la lampe — ne dépendent pas de la forme de la surface incandescente, celle-ci agit au plus haut point sur la valeur des pertes par conduction et convection. Il avait observé qu'à une température donnée ces pertes sont sensiblement les mêmes pour un filament de fort diamètre, 25/100 mm par exemple, que pour un filament de 7/100 mm, tandis que l'intensité lumineuse par unité de longueur est plus que triplée. Ainsi, plus le filament est gros, plus les pertes par convection et conduction sont faibles, relativement aux pertes par radiation et plus le rendement de la lampe à atmosphère gazeuse se rapproche du rendement dans le vide à la même température. La principale cause de l'insuccès d'Edison avait été due à ce que son brevet de 1882 était basé sur le principe diamétralement opposé. Toutefois, cette solution n'était directement applicable qu'aux lampes absorbant un courant de forte intensité. Le diamètre du filament n'est pas, en effet, arbitrairement choisi; il dépend uniquement, pour un métal déterminé, de la résistance électrique désirée par unité de longueur et il est en particulier extrêmement faible dans les lampes dont la vente est la plus courante. Langmuir s'avisa alors d'y obvier à l'aide d'un expédient consistant à concentrer ce filament dans un espace relativement court et large; en lui donnant par exemple, la forme d'une hélice avec un bobinage de forme spéciale et inédite, réduisant au minimum le pas de cette hélice, il obtint que le corps incandescent se comportât vis-à-vis du gaz sensiblement comme un filament droit de même diamètre extérieur.

Langmuir spécifiait, enfin, l'emploi d'un filament en

tungstène ou en métal ayant un point de fusion élevé et présentant une faible vaporisation, et d'un gaz sans action sur le filament et à faible conductibilité.

Etabli d'après ces données, le brevet litigieux repose donc sur la combinaison de trois principes: emploi d'un métal approprié pour le filament — d'un gaz inerte et peu conducteur de la chaleur — et d'un corps incandescent de forme concentrée. Il contient, en outre, un perfectionnement: la forme de l'ampoule telle que le métal vaporisé vienne s'y déposer en un point dont le noircissement n'influe pas sensiblement sur l'intensité lumineuse.

Dès lors, la lampe à incandescence à atmosphère gazeuse d'utilisation pratique était trouvée. Sa découverte a révolutionné l'industrie de l'éclairage et permis de réaliser dans le monde entier d'énormes économies.

II. — Les moyens invoqués par la défense. — Ceci posé, les lords ont scruté les deux moyens invoqués par la défense; défaut de nouveauté et insuffisance de description.

1. DÉFAUT DE NOUVEAUTÉ. — Sur le défaut de nouveauté, la Corona Lamp Works Company articulait que l'invention n'était pas brevetable, les éléments, emploi du gaz, substitution du filament de tungstène au filament de carbone et son boudinage étant tous déjà connus et leur combinaison étant devenue à la portée de tous les techniciens depuis l'emploi du tungstène.

Le juge de première instance et la cour d'appel devant qui ce moyen avait été simplement esquissé l'avaient rejeté en se bornant à déclarer que l'emploi d'un corps incandescent de forte section était brevetable.

Les lords se sont accordés à reconnaître qu'il s'agissait d'une combinaison nouvelle d'éléments connus susceptible d'être brevetée dès lors qu'elle ne consistait pas dans la simple découverte d'un phénomène sans utilisation ou d'un meilleur rendement de procédés en cours, mais qu'elle aboutissait, par la transformation des éléments et de leur agencement, à l'invention d'un procédé inconnu de fabrication permettant la création d'un produit industriel; que, dans l'espèce, l'invention résidait dans la substitution du gros filament au petit filament préconisé par Edison, et son adaptation aux autres éléments, d'où était résulté la rénovation de l'industrie des lampes à incandescence.

Le *comte Haldane* déclare qu'il n'a plus « aucun doute » sur la nouveauté de l'invention. Et il conclut en ces termes: « En réalité, il y a là l'invention d'un procédé ingénieux et pratique de fabrication dont les éléments, si anciens qu'ils soient, sont combinés suivant un principe qui, lui, est nouveau et renferme une pure invention ».

Pour le *comte Finlay*: « Bien que quelques-uns des éléments soient anciens, leur combinaison est nouvelle; elle a produit des résultats très intéressants. Le reproche de défaut de nouveauté est donc sans fondement ».

Le *vicomte Cave*, s'étonne qu'on puisse poser la question de savoir si une invention, qui a produit des résultats d'une telle importance que, d'après le témoignage de M. Swinburne, elle a amené « une révolution » dans l'industrie des lampes électriques, est susceptible de servir de base à un brevet. « Sans doute, ajoute-t-il, le succès commercial ne serait pas une base suffisante; il faut, de plus, qu'il y ait découverte et invention et, après avoir rapproché les faits de la cause de la jurisprudence, il conclut que le docteur Langmuir a, sans doute, utilisé des éléments connus — le filament de tungstène droit ou bobiné et le gaz inerte — mais il a apporté d'importantes modifications dans leur usage et, par son intelligence et son ingéniosité, il a surmonté les difficultés pratiques qui, auparavant, barraient malheureusement la route à leur combinaison. La solution de ces difficultés a été une nouveauté et une invention, et j'estime, par suite, qu'il y a amplement matière à brevet ».

Lord Dunedin déclare que le brevet a pleinement atteint le but qu'il poursuivait, la fabrication d'une lampe à filament de tungstène ou de toute autre matière réfractaire, qui dépasserait en efficacité toutes celles qui étaient alors dans le commerce, et par son pouvoir éclairant, et par l'économie réalisée. Il étudie le brevet Edison qui n'a pas abouti et répondant à l'objection qu'il n'était pas besoin d'invention pour l'appliquer avec l'aide du tungstène depuis que celui-ci avait supplanté le charbon pour les filaments, il s'exprime ainsi : « Négligeant les textes, je note ce point essentiel que le tungstène étant pratiquement utilisable depuis 1906, aucun des nombreux chercheurs, et pas même Edison, n'a cependant songé à exploiter ce procédé, qui, d'après la défense, serait manifeste pour toute personne au courant du brevet Edison ».

Enfin, *lord Shaw of Dunfermline*, reproduisant l'opinion du Lord Chief Justice Tindal dans un procès antérieur rappelle : « qu'il y a de nombreux cas où des brevets ont été accordés pour une invention consistant simplement en l'emploi de choses déjà connues, traitées d'une manière connue, mais ayant pour but de rendre un résultat antérieurement connu, plus économique ou plus avantageux pour le public. » Il conclut en disant que : « examiné dans cet esprit, le présent brevet lui semble éminemment valable ».

C'est ainsi, qu'à l'unanimité, les lords ont confirmé sur ce premier chef la décision du premier juge de la cour d'appel. La solution semblait d'ailleurs, s'imposer; la controverse était si malaisée pour la Corona Lamp Works qu'elle n'avait pas insisté devant les deux autres juridictions.

2. DÉFAUT DE DESCRIPTION. — Sur le défaut de description, l'articulation des défendeurs était ainsi formulée : « Le brevet des plaignants ne contient pas une description spéciale et ne spécifie pas la nature de la prétendue invention et de la manière dont elle doit être appliquée; il est ambigu et trop vague, car il ne donne pas une

définition suffisante des expressions : fort diamètre, forte section, pression relativement élevée et forme concentrée ».

Ni le premier juge, ni la cour d'appel, ni aucun des cinq lords n'ont admis que l'on pût sérieusement discuter les deux dernières expressions; ils n'ont retenu au débat que les expressions « fort diamètre » « forte section ». Voici quels étaient, en ce qui les concerne, les termes de la première revendication : « Une lampe électrique ayant un filament de tungstène ou d'un autre métal réfractaire de fort diamètre ou de forte section ou de forme concentrée ».

Les défendeurs prétendaient que l'imprécision volontaire de cette expression était due au désir de l'inventeur d'exagérer — même au delà des limites légales — la protection de son brevet, soit pour constituer à son profit un monopole, soit pour se réserver d'effectuer ultérieurement la mise au point d'un brevet incertain au moment du dépôt.

Le premier juge et la cour d'appel avaient admis cette théorie. Les lords ont été encore unanimes pour infirmer leur décision.

Ils ont tous fait observer que les revendications du brevet ne doivent pas être envisagées séparément, mais qu'il faut les rapprocher de la description afin de les éclairer et d'en préciser le sens. Ils ont noté qu'il est indiqué dans la description que dans certaines limites les pertes par conduction et convection sont sensiblement indépendantes du diamètre du fil; ainsi, pour des diamètres compris entre $\frac{25}{100}$ mm et $\frac{7,5}{100}$ mm la valeur de ces pertes varie très peu, alors que les surfaces sont dans le rapport de 10 à 3, ainsi que leurs intensités lumineuses pour une température déterminée.

Il est difficile de donner une plus grande précision; ces valeurs numériques des dimensions dépendent, en effet, de la nature du métal réfractaire et du gaz inerte employés. Le but de Langmuir était d'indiquer, sans qu'un fabricant de lampes puisse y trouver la moindre ambiguïté, les caractéristiques des lampes de son procédé et il n'a pas manqué d'obtenir ce résultat puisqu'aucune lampe à atmosphère gazeuse existant actuellement ne s'écarte de celles fabriquées par lui.

Sur cette question, les avis exprimés par les lords ont été unanimes comme les quelques extraits reproduits ci-dessous suffisent à le montrer.

Le *vicomte Haldane* remarque que la description du brevet parle de filament bobiné d'environ $\frac{25}{100}$ mm de diamètre. « Sans doute, dit-il, il n'est ni possible, ni nécessaire de préciser l'expression « fort diamètre » en lui assignant des dimensions limitées. L'important était d'indiquer aux fabricants de lampes comment employer un filament de la grosseur proportionnée à la surface d'incandescence suivant le travail à exécuter et il leur en a révélé le moyen par l'enroulement d'un petit filament qui, malgré l'exiguité de son diamètre, procure une large surface d'incandescence et n'exige

cependant qu'une faible quantité de courant ». L'expression « fort diamètre » n'avait pas besoin d'être définie davantage, il n'y avait qu'à s'en remettre à la pratique courante. Le brevet satisfait donc au vœu de la jurisprudence qui, pour sa validité, exige simplement que le procédé soit assez explicite pour qu'avec du soin et de l'application, le technicien puisse l'employer sans effort d'imagination. »

C'est aussi l'avis du *vicomte Finlay* : « On n'a pu, dit-il, nous citer aucun procès dans lequel on ait soutenu que les instructions contenues dans la description, suffisantes pour permettre à un praticien compétent de mettre le brevet en œuvre, fussent assez vagues pour que l'imprécision des limites de l'invention soit un cas de nullité. Cette hypothèse est d'ailleurs difficile à concevoir ».

Et plus loin : « Qu'est-ce qu'un gros filament ? Sûrement il faut l'entendre par comparaison aux filaments de tungstène qui étaient en usage avant que ces plaignants aient pris leur brevet. En ce qui concerne le degré précis de grosseur, c'est une question à fixer par le fabricant non pas à l'aide de ce que l'on peut, à proprement parler, qualifier effectivement d'expériences, mais bien de ces essais auxquels on a fatalement recours pour la fabrication de chaque article : « Il serait abusif d'imposer à l'inventeur l'obligation de déterminer les dimensions applicables aux cas particuliers ».

Le *vicomte Cave* estime que la description indique le critérium pour fixer la précision du diamètre : « Il n'y a qu'à prendre pour terme de comparaison les dimensions précédemment usitées ; or, tout fabricant de lampes, bien avant la date du brevet, avait des tables de diamètres de filament allant de $\frac{1}{100}$ à $\frac{20}{100}$ mm et au delà et n'avait aucun doute sur le diamètre nécessaire pour obtenir, avec une tension donnée, une intensité lumineuse déterminée dans une lampe à vide. »

Lord Dunedin dit que : « Si l'on décrit un objet par un qualificatif de comparaison, il est implicitement admis que cette comparaison doit se faire par rapport à une valeur normale moyenne, lorsqu'aucune base n'est spécifiée. Or, la dimension moyenne des filaments de lampe était bien connue ; je pense qu'en spécifiant « forte section », le brevet entendait dire plus forte que la section moyenne ; une définition plus précise ne me semble pas nécessaire ».

Que demande, en effet, la loi ? fait remarquer *lord Shaw of Dunfermline* : « Que l'invention soit décrite dans un langage suffisamment clair et précis pour être intelligible. Mais l'intelligence requise n'est pas celle du rustre sans instruction, non plus peut-être, celle du savant sans connaissances pratiques, mais bien celle

d'une personne au courant des bases et de la situation de l'industrie intéressée par le brevet, qui ait l'expérience des difficultés qu'on y rencontre et au besoin quelques notions sur les origines de ces difficultés.

» La loi n'a jamais imposé aux preneurs de brevets de chiffrer les dimensions de longueurs, poids et mesures. S'il en était autrement, la plupart des principaux brevets seraient sans valeur. Cette observation s'applique particulièrement au cas « présent qui comporte une grande variété d'éléments et de conditions ».

III. Conclusions. — Le second moyen ayant été rejeté, la Chambre des Lords, par arrêt du 19 décembre 1921, cassant la décision de la cour d'appel, a fait défense à la *Corona Lamp Works Ltd* d'enfreindre le brevet 10918 de 1913, l'a condamnée à des dommages-intérêts à fixer par expert et à la destruction des produits exécutés en violation du brevet précité, en outre, à tous les dépens y compris ceux de première instance et d'appel. Elle a ordonné le renvoi du dossier à la Chancellerie de la Haute Cour de Justice, avec injonction de déclarer fondés les griefs de contrefaçon invoqués par les demandeurs, de certifier que le brevet a été reconnu valable et de donner au jugement la suite qu'il comporte.

Il convient de remarquer que, si cet arrêt de la Chambre des Lords a une importance prédominante, il n'innove pas la jurisprudence sur la matière : les principes qu'il consacre sont depuis longtemps admis aussi bien en France qu'en Angleterre. Ce n'est point non plus la première fois que le brevet Langmuir sort victorieux de l'épreuve judiciaire. A raison de sa valeur exceptionnelle, il a suscité les convoitises des contrefacteurs de tous les pays. En Amérique, où ils ont été légion, le nombre des procès, tous d'ailleurs résolus en faveur du brevet, a fini par lasser la patience des tribunaux, ainsi qu'en témoigne ce considérant d'une décision récente : « Le volume du dossier est hors de proportion avec la simplicité de l'affaire. Cela tient en partie à ce que la cour a jugé utile d'accorder les plus grandes facilités pour permettre d'opposer tous les faits, expériences ou théories imaginables à la validité du brevet, afin que ce jugement puisse trancher définitivement la question. Si le brevet est confirmé par ce jugement, il est difficile de concevoir, après les procès antérieurs, quel nouveau système on peut bien imaginer pour l'attaquer. (Cour du District Sao de New-York, 29 octobre 1921. *General Electric Company* contre *Alexandre, N. Fabian and Alpha Laboratories*.) »

T. PAUSERT.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité,

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 22.

3 JUIN 1922.

Chronique. — Sur la mise à la terre du neutre d'un réseau triphasé. — Bibliographie : La constitution de la matière, par Max BORN. — Annuaire du Syndicat professionnel des Industries électriques, p. 809-810.

Section scientifique et technique. — Variations de tensions dues aux inégalités de charge des phases d'un réseau triphasé basse tension avec fil neutre, par A. BARRAUD, p. 811. — Note sur une méthode d'essais en courant déwatté pour la détermination des coefficients de la méthode de Potier, par G. SENTENAC, p. 813. — Revues, analyses et informations : Sur un effet électro-optique et magnéto-optique des liquides qui tiennent des poudres métalliques en suspension, p. 815; Sur l'électrodynamique des milieux homogènes et isotropes en repos, p. 815.]

Section industrielle. — Usine hydroélectrique de Beaumont-Montoux, les installations électriques de l'usine, par Jacques SURT, p. 817. — Emploi des isolants dans les condensateurs électriques, par C.-F. GUILBERT, p. 829. — Etalonnage des compteurs en régime variable, par G. PALANCHON, p. 834. — Revues, analyses et informations : La détermination des pertes des machines électriques par la méthode d'amortissement, p. 836; Essais d'isolateurs soumis à des tensions de haute fréquence, p. 840; Utilisation de la force thermoélectrique de contact pour identifier quelques aciers, p. 842.

Section économique et financière. — Assemblées générales : L'Energie industrielle, p. 843.

Section délégitation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Sur les rapports entre les concessionnaires des lignes à haute tension et les groupements agricoles des régions traversées par ces lignes, p. 845; Proposition de résolution tendant à la revision du système fiscal, p. 845; Loi fixant, pour une nouvelle période de cinq ans, le taux des contributions ou fonds de garantie des exploitants non patentés, en matière d'accidents du travail, p. 846; Sur l'application de la taxe sur les automobiles, suivant que celles-ci appartiennent à une société anonyme ou à ses directeurs ou administrateurs, p. 846; Sur l'impossibilité d'admettre les titres des emprunts de guerre comme moyens de paiement des impôts sur les revenus, p. 846; Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires des travaux antérieurs au 1^{er} juillet 1920, travaux en régie, p. 846; Sur l'application de l'impôt de 10 pour 100 sur les intérêts des créances, p. 847; Sur l'application de la loi sur la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre, p. 847; Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux, détaxe pour détermination du bénéfice imposé, p. 847; Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux et de l'impôt sur le chiffre d'affaires aux sociétés coopératives, p. 848; Sur l'application de la contribution sur les bénéfices de guerre détaxes pour exercices déficitaires, p. 848.

Errata. p. 848.

Sur la mise à la terre du neutre d'un réseau triphasé. — Nous recevons à ce sujet la lettre suivante de M. Ch. Ledoux, ingénieur à Barcelone.

Dans son intéressant article paru dans la « Revue générale de l'Électricité » du 6 mai 1922, t. XI, p. 666-668, M. M. Kuechlin discute la question de la mise à la terre du neutre d'une ligne ou d'un réseau triphasé et conclut que, dans tous les cas, l'insertion d'une résistance entre le neutre et la terre ne présente que des inconvénients et n'est, par conséquent, pas recommandable.

Je vous serais reconnaissant si vous vouliez bien insérer dans un prochain numéro la note suivante dans laquelle j'expose quelques considérations permettant d'arriver à des conclusions opposées.

1^o *Cas d'une ligne aérienne comprise entre deux stations dont l'une est génératrice et l'autre réceptrice.* Mise à la terre accidentelle d'une phase sans rupture de fil (c'est le cas d'une branche d'arbre touchant un fil ou d'un fil touchant une ferrure après rupture d'un isolateur). Dans la plupart des cas la résistance du défaut ne sera nullement négligeable et pourra être considérée comme localisée dans son voisinage immédiat. Si l'on calcule la valeur des courants qui pren-

dront naissance, on voit qu'ils seront maxima dans la partie de la ligne comprise entre le défaut et la station génératrice. C'est donc le disjoncteur de cette dernière qui fonctionnera, circonstance favorable, car la station génératrice est toujours surveillée, le poste non. On remarque :

a) Que l'élévation de tension entre les phases non avariées et la terre est localisée dans le voisinage du défaut ; sur le reste de la ligne, elle est plus faible que la différence entre les tensions composée et simple ; il y a donc avantage sur le cas du neutre isolé préconisé par M. Kuechlin ;

b) Que le courant qui prendra naissance sera limité à une valeur admissible et pourra être coupé par le disjoncteur sans crainte d'explosion de ce dernier et sans crainte des surtensions qui prennent naissance lors de la rupture d'un fort courant ; il y a donc avantage sur le cas du neutre franchement à la terre ;

c) Que l'on peut augmenter le retard des disjoncteurs, ce qui évitera de nombreux déclanchements inutiles (si le défaut est constitué par une branche d'arbre, cette dernière sera brûlée avant que le disjoncteur ait fonctionné) ;

d) Que, dans le cas d'installations à très haute tension où les courants de capacité ne sont pas négligeables, les phénomènes de résonance au moment d'une mise à la terre sont

éliminés à cause de l'amortissement dû à la résistance ; des phénomènes analogues ont été observés dans les installations protégées par des condensateurs.

On pourra objecter à propos des remarques *b)* et *c)*, qu'il y a avantage pour le système neutre isolé. Il n'en est rien, car, si l'on peut continuer l'exploitation avec une phase à la terre, ce ne sera pas sans inconvénients : 1° les parafoudres placés sur les phases non avariées pourront fonctionner intempestivement ; 2° l'isolement des phases non avariées supportera constamment la tension composée ; 3° il y aura danger pour tout individu qui s'approchera du défaut, ce dernier pouvant n'être repéré que longtemps après s'être produit (la vie d'un homme vaut bien une interruption de service, en Europe du moins).

Si, de plus, on remarque que dans le cas du neutre à la terre les accidents dus aux ondes à front raide et aux surtensions à très haute fréquence sont considérablement réduits (nous avons mis ce fait en évidence dans un article qui paraîtra prochainement dans le Bulletin de l'Association des Ingénieurs I. E. T.), on voit que la mise à la terre du neutre par l'intermédiaire d'une résistance ne présente guère que des avantages.

2. *Ligne aérienne.* — Mise à la terre accidentelle d'une phase avec rupture du fil (c'est le cas d'un fil se rompant sous l'influence d'une surcharge quelconque). Ce cas se ramène au précédent avec, toutefois, cette différence qu'il y a forcément interruption de service que le neutre soit à la terre ou non. L'avantage du neutre à la terre (avec résistance ou non) est de déceler immédiatement l'existence du défaut.

3. *Réseau souterrain.* — Comme M. Kœchlin l'a montré clairement dans son article, les avantages du neutre isolé sont pratiquement illusoires. Il convient donc de mettre le neutre à la terre. Dans ce cas encore, l'interposition d'une résistance me paraît présenter plus d'avantages que d'inconvénients :

a) Il y a réduction du courant au moment de la mise à la terre d'une phase (dans les grosses installations les surintensités ont des effets destructifs considérables) ;

b) Les phénomènes de résonance qui prennent naissance, d'abord au moment où se produit le défaut, ensuite lors de la rupture du courant sont très rapidement amortis par la résistance ;

c) Il y a élévation de la tension entre les phases non avariées et le neutre (élévation variant entre 0 et 73,2 pour 100 quand la résistance entre le point où se produit le défaut et la terre de la station génératrice varie entre l'infini et zéro). Mais qu'est cette élévation de tension auprès de celle prenant naissance lors de l'établissement ou de la rupture du courant de court-circuit à travers la terre et pouvant atteindre 100, 200, 300 pour 100 et même plus ?

Lorsqu'on a à craindre les corrosions produites dans le sous-sol par le courant de fuite et le courant d'équilibre (phases inégalement chargées), il suffit de placer dans la tranchée où sont posés les câbles, un vieux câble d'acier (on peut trouver à très bon marché des câbles tracteurs usés) qui drainera les courants de fuite et concentrera sur lui les corrosions d'origine chimique et celles dues à l'électrolyse.

Loin de considérer la mise à la terre du neutre par l'intermédiaire d'une résistance comme présentant plus d'inconvénients que d'avantages, nous ne cessons au contraire de la préconiser. Ce que nous concéderons volontiers, c'est qu'il soit préférable d'employer sur un réseau souterrain des résistances plus faibles que sur un réseau aérien, car les terres sont plus franches dans le premier cas que dans le second. Si donc nos conclusions sont essentiellement différentes de

celles de M. Kœchlin, nous admettrons cependant qu'elles sont parallèles plutôt qu'opposées.

Veillez agréer, etc.

Bibliographie : La constitution de la matière, par Max BORN, professeur à l'Université de Francfort ; traduit de l'allemand par H. BELLENOT, ingénieur chimiste diplômé de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich. Collection de monographies scientifiques étrangères, publiée sous la direction de M. G. JUVET, professeur à l'Université de Neuchâtel (1). — En France, nous avons eu la satisfaction de lire une série de publications du même genre, entreprises à l'instigation de différents groupements scientifiques. On sait combien les conférences-rapports de la Société française de Physique et de la Société physico-chimique ont été goûtées du public ; il n'est pas moins intéressant de connaître le mode de présentation des théories modernes suivi par les savants étrangers et, à ce titre, nous sommes heureux de signaler la brochure de M. Max BORN, dans laquelle sont réunies trois conférences : l'atome ; de l'éther mécanique à la matière électrique ; le passage de la chimie à la physique. « Elles traitent toutes les trois, dit l'auteur, du même sujet : l'atomistique physique. Chacune d'elles développe ce sujet d'un point de vue différent. La première donne une idée générale de la théorie atomique moderne ; les deux autres s'occupent de problèmes plus spéciaux que l'auteur a étudié d'une façon toute particulière ». — B. C.

Annuaire du Syndicat professionnel des Industries électriques. — Le Syndicat professionnel des Industries électriques prévient les nombreuses personnes qui ont souscrit à son annuaire, que cet ouvrage, dont la parution a été retardée par suite d'événements indépendants de sa volonté, est actuellement en cours de livraison, et qu'ils vont le recevoir sous peu.

Il rappelle que ce volume, de 1400 pages du format 16 cm × 23 cm, qui a sa place marquée sur le bureau de l'industriel, du technicien et du commerçant, est le véritable organe de la documentation indispensable à tous ceux qui, de près ou de loin, se trouvent rattachés à l'industrie électrique.

En outre des renseignements très complets qui sont groupés dans les dix-neuf parties qui le composent, il contient notamment :

Une *documentation technique* très précieuse, puisqu'il publie les *textes officiels* des cahiers des charges, des normalisations et, en général, les règles techniques établies par l'Union des Syndicats de l'Electricité, le Comité électrotechnique français et la Commission permanente de Standardisation ;

Une *documentation absolument inédite* sur la législation fiscale ;

Une *documentation commerciale* comprenant la nomenclature alphabétique du matériel électrique construit par les industriels français.

L'Annuaire est en vente au siège du Syndicat professionnel des Industries électriques. Son prix est de 30 fr. Une remise de 30 pour 100 est consentie aux adhérents des syndicats.

(1) Un volume 25 cm × 15 cm, de 81 pages avec 36 figures dans le texte, édité par la librairie scientifique Albert Blanchard, 3 et 3 bis, place de la Sorbonne, Paris (Ve). Prix : broché, 6 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Variations de tension dues aux inégalités de charge des phases d'un réseau triphasé basse tension avec fil neutre

L'auteur reprend, par un procédé graphique, l'étude générale des chutes de tension dans les lignes triphasées basse tension avec fil neutre, étudiée précédemment traitée par le calcul, dans la « R. G. E. », lorsque le réseau est monté en étoile. Il montre qu'il peut y avoir, dans certains cas, surélévation de la tension entre phase et fil neutre, et il donne des exemples numériques se rapportant à des modes de bobinage différents des transformateurs qui alimentent le réseau.

Introduction. — Dans l'exploitation d'un réseau triphasé d'éclairage sur lequel sont également branchés des appareils fonctionnant sur une seule phase, tels que des radiateurs monophasés de chauffage, il importe de veiller avec grand soin à réaliser le plus possible l'équilibre des phases en ampères, car leur déséquilibre peut donner lieu à des variations de tension en ligne extrêmement importantes.

Dans un article paru dans la « R. G. E. » du 14 janvier 1922, sous le titre « Chute de tension dans les lignes basse tension (système en étoile avec fil neutre) », M. J. Godin établit une théorie permettant le calcul des tensions en des points quelconques d'un réseau triphasé avec fil neutre, dans le cas où les phases sont inégalement chargées.

Son expression de chute de tension est impropre parce que, dans certains cas, pour les phases les moins chargées, il peut y avoir surélévation de tension entre chacun de ces fils de phase et le fil neutre.

M. Godin, en traitant le problème algébriquement, est arrivé à des résultats erronés.

Nous allons ci-après indiquer une méthode géométrique permettant de résoudre la question avec une approximation suffisante pour la pratique.

Nous nous placerons tout de suite dans le cas le plus général, qui est celui relatif aux lignes aériennes.

I. Diagramme des tensions par phase pour réseau équilibré. — On sait que pour avoir la valeur de la tension en un point quelconque d'une phase en charge, il faut considérer :

1° La chute inductive de tension due à la self-induction de la ligne, $L \omega I$ (en quadrature avec l'intensité);

2° La chute de tension ohmique RI (en phase avec l'intensité).

Si OE (fig. 1) est le vecteur représentant la tension étoilée à l'origine de la ligne, pour avoir la valeur de la tension entre le fil de phase et le fil neutre au point considéré, il faut opérer comme suit :

Du point E comme centre avec $L \omega I$ comme rayon,

on décrit un cercle. Du point O, on mène la tangente à ce cercle et on a, en OA, le vecteur représentant la tension, dans le cas où la chute ohmique est supposée nulle.

Comme cette dernière est égale à RI , on porte $AD = RI$, et on a en OD le vecteur représentant la tension cherchée.

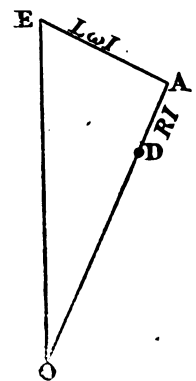


Fig. 1.

II. Diagramme des tensions d'un réseau triphasé non équilibré.

— Proposons-nous de trouver les valeurs des tensions entre chaque fil de phase et le fil neutre en un point d'une ligne triphasée aérienne, en supposant les phases non équilibrées, et en admettant que les appareils branchés sur la ligne sont non inductifs.

Soient I_1, I_2, I_3 , les intensités par phase. Admettons pour simplifier que les fils de phase ont même section et que la self-induction a la même valeur L pour chaque phase.

R étant la résistance de l'un quelconque des fils de phase, les chutes ohmiques par phase sont respectivement RI_1, RI_2, RI_3 .

Les chutes inductives par phase sont respectivement

$$L \omega I_1, \quad L \omega I_2, \quad L \omega I_3.$$

Appliquons la construction précédente à chacune des phases (fig. 2).

Pour la phase 1 on a : $A_1B_1 = L \omega I_1$,

Id $B_1C_1 = RI_1$,

Pour la phase 2 on a : $A_2B_2 = L \omega I_2$,

Id $B_2C_2 = RI_2$,

Pour la phase 3 on a : $A_3B_3 = L \omega I_3$,

Id $B_3C_3 = RI_3$.

On obtient en OC_1 , OC_2 , OC_3 , les vecteurs de tension au point considéré, si la résistance du neutre est égale à zéro.

Comme cette résistance n'est pas nulle, le fil neutre

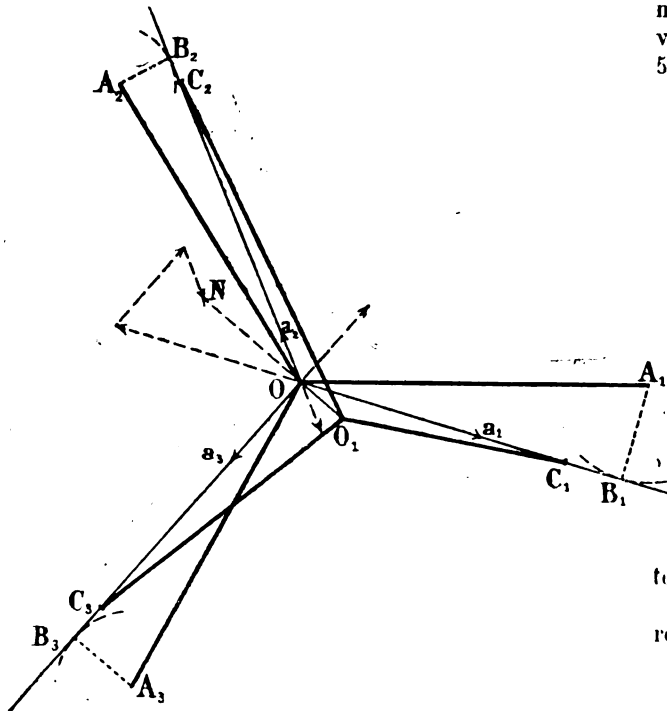


Fig. 2.

donne lieu à une chute de tension ohmique $R_0 I_0$ en phase avec le courant I_0 qui circule dans le neutre.

Pour déterminer la valeur et la phase de ce courant I_0 , il faut composer géométriquement les vecteurs des intensités I_1 , I_2 , I_3 , pris en sens inverse : soit ON ce vecteur.

Portons en OO_1 (en sens inverse de ON) la chute de tension $R_0 I_0$, on obtient le point O_1 et les valeurs des tensions cherchées sont

$$O_1C_1, \quad O_1C_2, \quad O_1C_3.$$

APPLICATION. — Considérons une ligne aérienne triphasée (fig. 3) alimentée au moyen d'un transforma-

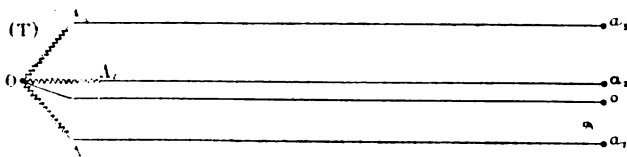


Fig. 3.

teur (T) par du courant basse tension à la fréquence de 50 p. s. ; montage en étoile au départ ; sur les trois phases, 120 v.

Les caractéristiques de la ligne sont les suivantes :

Ligne en cuivre. Section de chaque phase 100,87 mm² (résistance par kilomètre à 20°, 0,16 ohm). Section du neutre, 48,33 mm² (résistance par kilomètre à 20°, 0,39 ohm). Longueur 400 m. La réactance est sensiblement la même pour chaque fil de phase et a pour valeur, par kilomètre de ligne, avec du courant à 50 p. s., 0,3 ohm. Les intensités par phase sont

$$I_1 = 100 \text{ A}, \quad I_2 = 25 \text{ A}, \quad I_3 = 50 \text{ A},$$

On a

$$RI_1 = 0,16 \times 0,4 \times 100 = 6,4 \text{ v.}$$

$$RI_2 = 0,16 \times 0,4 \times 25 = 1,6 \text{ v.}$$

$$RI_3 = 0,16 \times 0,4 \times 50 = 3,2 \text{ v.}$$

$$L\omega I_1 = 0,3 \times 0,4 \times 100 = 12 \text{ v.}$$

$$L\omega I_2 = 0,3 \times 0,4 \times 25 = 3 \text{ v.}$$

$$L\omega I_3 = 0,3 \times 0,4 \times 50 = 6 \text{ v.}$$

Le diagramme précédent se construit alors aisément. Pour la phase 1, par exemple, le cercle décrit de A_1 comme centre a un rayon $L\omega I_1$ égal à 12 et $B_1C_1 = RI_1$ est égal à 6,4.

On obtient donc en OC_1 , OC_2 , OC_3 les valeurs des tensions, abstraction faite du neutre.

Ceci fait, portons suivant OC_1 , OC_2 , OC_3 les valeurs respectives des intensités de chaque phase

$$Oa_1 = 100, \quad Oa_2 = 25, \quad Oa_3 = 50.$$

En composant géométriquement ces vecteurs portés en sens inverse, on a en ON le vecteur d'intensité I_0 du neutre qui est égale à 56,5.

En portant, en sens inverse de ON, $OO_1 = R_0 I_0 = 0,39 \times 0,4 \times 56,5 = 8,8$, on obtient le point O_1 ; et finalement les valeurs des tensions cherchées se lisent sur le graphique

$$O_1C_1 = 105,$$

$$O_1C_2 = 126,$$

$$O_1C_3 = 117,5.$$

Du diagramme, il ressort que la tension OC_1 de la phase 1 dans le cas de phases équilibrées est égale à 113 v et que, par suite du déséquilibre et de la chute de tension qui en résulte dans le neutre, la tension de cette phase n'est plus que de 105 v.

Par contre, la tension de la phase 2, qui eût été égale dans le cas de phases équilibrées à 118,2 v devient, par suite du déséquilibre, égale à 126 v, c'est-à-dire de 6 v supérieure à la tension aux bornes du transformateur ; et pour la phase 3, on a 117,5 v au lieu de 116,2 v qu'on aurait eu si les phases avaient été équilibrées.

III. Influence des transformateurs. — Le phénomène s'amplifie encore davantage si le réseau est alimenté par des transformateurs avec bobinages étoile-étoile.

L'inégalité de charge des phases donne lieu, en effet, à des variations de tensions importantes aux bornes des transformateurs étoile-étoile, et ces variations de tensions s'ajoutent géométriquement à celles provenant de la ligne même.

EXEMPLE. — Nous avons fait l'essai suivant au moyen d'un transformateur de la Société marseillaise Electrique ayant les caractéristiques ci-après : puissance, 65 kv-a ; bobinage étoile-étoile, primaire 5 000 v, secondaire 190/110 v, fréquence 50 p.s.

Le transformateur étant installé en (T) (fig. 1), on

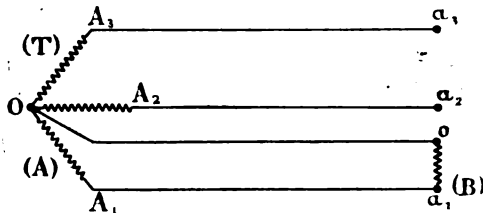


Fig. 1

faisait débiter 100 A à la seule phase 1 (c'est-à-dire la moitié environ de l'intensité normale de pleine charge), en un point B situé à une distance de 380 m. La ligne aérienne allant de (A) à (B) est une ligne de réseau à

4 fils. Les 3 fils de phase sont constitués par 262 m de câble cuivre en 100 mm² et 118 m en 50 mm². Le neutre est constitué par 262 m de câble cuivre en 50 mm² et 118 m en 34 mm².

A vide, les tensions entre phases et neutre étaient, aux bornes du transformateur, pour les trois phases, 118 v.

Lorsque la phase A₁ débitait en B 100 A, les tensions relevées étaient les suivantes : en (T) aux bornes du transformateur phase 1, 100 v ; phase 2, 120 v ; phase 3, 153,6 v.

En (B) phase 1, 74 v ; phase 2, 132,6 v ; phase 3, 168 v.

Par cet exemple, on se rend compte combien il importe de réaliser l'équilibre des intensités d'un réseau alimenté par des transformateurs à bobinage étoile-étoile.

Si l'équilibre ne pouvait être obtenu, les réseaux équipés au moyen de tels transformateurs auraient la ressource de pouvoir modifier leurs transformateurs en les faisant bobiner en triangle au primaire. Les transformateurs triangle-étoile donnent lieu, en effet, dans le cas de déséquilibre à des variations de tension aux bornes beaucoup moins importantes.

A. BARRAUD,

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique.

Note sur une méthode d'essais en courant déwatté pour la détermination des coefficients de la méthode de Potier

Tous les ouvrages classiques sont unanimes à reconnaître que la méthode de Pottier, par ses deux coefficients α et λ , est celle qui tient le mieux compte de la réaction d'induit d'un alternateur, mais ils avouent également que la détermination expérimentale de ces facteurs est une opération délicate. On trouvera dans cette note l'exposé d'un procédé rapide qui a donné d'excellents résultats au Laboratoire d'Essais de l'Institut électrotechnique de Toulouse, sous la direction de l'auteur.

La détermination des coefficients α et λ de la méthode de Potier nécessitent, comme on le sait, un essai de l'alternateur en courant entièrement déwatté. Le procédé généralement employé pour cet essai consiste à faire débiter l'alternateur sur des bobines d'inductance. Or le courant absorbé par une bobine d'inductance n'est jamais déphasé de 90° en arrière de la tension aux bornes. La résistance des bobines entre en ligne de compte et, en outre, l'hystérésis du noyau de fer introduit d'une certaine composante wattée dans le courant absorbé.

En dehors de cela, l'essai en courant déwatté effectué sur des alternateurs triphasés est fort difficile, au point de vue de l'équilibre des trois phases et tout à fait impraticable quand il s'agit de machines à haute tension.

Certaines maisons de constructions avaient tourné

ces difficultés de la manière suivante : l'on faisait fonctionner l'alternateur en moteur synchrone à vide et l'on prenait sur la courbe en V un point correspondant au courant normal. Ce point constituait l'essai en courant déwatté.

Cette méthode, d'après l'avis même de ceux qui l'ont appliquée, n'a jamais donné de résultats satisfaisants (1). Il est aisé d'ailleurs de lui adresser une grave critique : le courant absorbé dans ces conditions par le moteur synchrone n'est pas déwatté entièrement, puisque ce dernier absorbe une certaine puissance correspondant aux pertes magnétiques et mécaniques.

La méthode que nous allons exposer ici n'a pas ce grave défaut.

(1) Les valeurs obtenues pour α et λ étaient très variables pour des points différents de la courbe en V.

Reprenons l'alternateur fonctionnant en moteur synchrone à vide, mais supposons que nous fournissions sur l'arbre de la machine une énergie mécanique provenant d'une source quelconque, et convenablement réglée pour équilibrer exactement les pertes de l'alternateur y compris l'excitatrice s'il y a lieu. Dans ces conditions, l'alternateur n'absorbera plus aucune puissance, ce qui sera vérifié par déviation nulle du wattmètre. Le courant ainsi complètement dévatté sera aisément réglé en agissant sur l'excitation du moteur et son intensité pourra être absolument quelconque.

Quant à la source auxiliaire d'énergie mécanique, elle sera tout simplement le moteur d'entraînement ordinaire de l'alternateur, fonctionnant à puissance réduite. Dans le cas d'une unité isolée, l'excitatrice pourra remplir ce rôle si l'on dispose d'une source de courant continu convenable.

Nous avons appliqué cette méthode, au Laboratoire d'essais de l'Institut électrotechnique de Toulouse, dans des expériences que nous nous proposons de publier prochainement, et dont les résultats ont été très satisfaisants.

Comme confirmation de ces résultats, un ingénieur du service des essais d'une grande maison de constructions nous a autorisé à publier les résultats des expériences qu'il a effectuées sur des alternateurs triphasés de 1 800 kv-A, 5 000 v.

Résultats d'essais effectués sur un alternateur triphasé 1 800 kv-A 5 000 v.

1° Les mesures faites pour la détermination de la caractéristique à vide ont donné :

| AMPÈRES D'EXCITATION | VOLTS ÉTOILÉS |
|----------------------|---------------|
| 21,3 | 669 |
| 29,7 | 818 |
| 38,4 | 1 125 |
| 47,7 | 1 355 |
| 57,4 | 1 650 |
| 68,4 | 1 925 |
| 81,3 | 2 225 |
| 93 | 2 520 |
| 108,6 | 2 700 |
| 132 | 3 050 |
| 158,4 | 3 170 |
| 204,3 | 3 340 |

2° Les mesures relatives à la caractéristique en court-circuit ont fourni :

| AMPÈRES D'EXCITATION | AMPÈRES PAR FIL |
|----------------------|-----------------|
| 20,7 | 47 |
| 41,4 | 94 |
| 60,6 | 137 |
| 81,3 | 190 |
| 105 | 243,5 |
| 124,8 | 291 |
| 138 | 321 |

La résistance de l'alternateur et du câble entre le neutre et les appareils de mesure était de 0,163 ohm.

3° Les essais en courant dévatté ont donné

| NUMÉROS | AMPÈRES D'EXCITATION | VOLTS ÉTOILÉS | AMPÈRES PAR FIL | KILOVOLTS-AMPÈRES | KILOWATTS | COS φ |
|---------|----------------------|---------------|-----------------|-------------------|-----------|---------------|
| 1 | 195 | 2 810 | 137 | 1 140 | 9,4 | 0,008 |
| 2 | 164,4 | 2 450 | 137 | 1 010 | 0 | 0 |
| 3 | 210 | 2 750 | 141 | 1 170 | 0 | 0 |
| 4 | 240 | 2 700 | 183 | 1 480 | 0 | 0 |

4° Les résultats de la construction graphique de Potier ont été

| NUMÉROS | λ | α | λ | α |
|---------|-----------|----------|-----------|----------|
| 1 | 300 | 49 | 2,20 | 0,358 |
| 2 | 460 | 42 | 3,36 | 0,306 |
| 3 | 450 | 45,5 | 3,19 | 0,323 |
| 4 | 580 | 57,5 | 3,17 | 0,314 |

L'on remarquera sur le tableau que l'essai n° 1 où le courant n'est pas intégralement dévatté a donné des résultats très différents. Les trois autres points pris avec des intensités variables ont donné une concordance très satisfaisante pour les valeurs de α et λ .

Après la rédaction de ce travail, nous avons appris que cette méthode d'essai avait été déjà décrite par M. A. Blondel dans un rapport inséré aux Comptes rendus du Congrès international des Electriciens de Saint-Louis en 1904 sur la méthode d'essai des alternateurs, suivant la théorie des deux réactions. Dans cette étude, qui nous avait échappé jusqu'à présent, M. Blondel indique l'utilité d'entraîner l'alternateur soumis aux essais par un moteur asynchrone ou par sa machine à vapeur, soit pour relever avec précision les courbes en V, soit pour déterminer les constantes caractéristiques de self-induction et de réaction d'induit. Mais, comme on le sait, cet auteur n'acceptait pas les constantes α et λ de Pottier et déterminait donc ainsi le coefficient des contre-ampères-tours de réaction directe qu'il représente par $\frac{K.V}{\sqrt{2}}$ et la self-induction transversale, qu'il représente par L ou L' .

Dans notre étude, au contraire, nous avons eu en vue la détermination des coefficients α et λ de Potier.

G. SENTENAC,

Ingénieur I. E. T.

Ingénieur au Service de Contrôle
de l'Institut Electrotechnique de Toulouse.

Revue, analyses et informations

Sur un effet électro et magnéto-optique des liquides optiques qui tiennent des poudres métalliques en suspension.

M. PROCOPE ayant présenté à l'Académie des Sciences une note sur ce sujet, nous la reproduisons ci-après :

En étudiant la biréfringence électrique du toluène ayant séjourné sur du sodium, j'ai constaté que ce corps présentait une biréfringence négative, tandis que celle du toluène pur est positive. Le phénomène présentait les caractères qu'on lui connaît pour les liqueurs mixtes : avec un champ faible, quelques centaines de volts, la biréfringence atteignait rapidement une valeur de saturation, et ne disparaissait que progressivement après la suppression du champ. L'effet observé doit être attribué à des particules en suspension, car la filtration du toluène le fait disparaître.

Ces faits m'ont conduit à rechercher si les liquides qui renferment des poudres métalliques en suspension présentent une biréfringence dans le champ électrique ou magnétique.

Le dispositif optique était celui décrit dans des Notes précédentes (1).

Les métaux (Hg, Mg, Al, Sb, Cu, Zn, Fe, Ni, Cd, Bi), en poudre fine, sont mêlés avec le liquide étudié (benzène, pétrole, alcool benzylique, etc.). Après agitation du liquide avec la poudre métallique (dans le cas du mercure, avec une goutte de ce métal), on laisse reposer, on décante et la liqueur limpide est introduite soit dans une cuve de Kerr à deux électrodes verticales, entre lesquelles on établit le champ électrique (courant alternatif d'un transformateur), soit dans un tube placé dans l'entrefer d'un électroaimant.

Le mercure agité avec le pétrole ou le benzène donne des liqueurs claires, facilement utilisables, tandis que ses liqueurs avec l'alcool homobenzylique sont grisâtres et il faut les diluer fortement pour pouvoir les utiliser.

RÉSULTATS. — 1. Tous les liquides renfermant des poudres fines métalliques en suspension présentent, soit dans le champ électrique, soit dans le champ magnétique, une *biréfringence négative*, c'est-à-dire de même signe que celle du verre comprimé suivant la direction des lignes de force.

Voici, comme ordre de grandeur, la biréfringence β et le dichroïsme δ en degrés, en lumière jaune du mercure (5-8 μ), des liqueurs obtenues avec l'alcool homobenzylique et l'une des poudres métalliques suivantes :

Champ électrique (500 v : cm),

| | Hg | Mg | Sb | Al | Cu | Fe | Ni | Cd | Zn | Bi |
|----------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| β | -30,6 | -20,1 | -10 | -10,8 | -10,5 | -10 | -10 | -00,4 | -00,3 | -00,1 |
| δ | -00,5 | -10,5 | -10 | -00,4 | -00,5 | -00,3 | +00,4 | -00,2 | +00,1 | -00 |

Le *saturation* de la biréfringence électrique est obtenue pour des champs de l'ordre de 200-500 v : cm pour tous les métaux, excepté pour le mercure qui, à 3000 v : cm n'atteint pas encore la saturation. En outre, le mercure donne, avec le benzène et le pétrole, de fortes biréfringences négatives, de l'ordre de -10° pour 3000 v : cm.

La biréfringence ne disparaît pas en même temps que le champ, il y a un *temps de relaxation* de deux ou trois minutes pour tous les métaux, excepté pour les liqueurs dérivant du mercure, dont la biréfringence disparaît presque instantanément. Il est probable que ceci tient à ce que les particules de mercure en suspension sont plus petites.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1920, t. CLXXI, p. 1145 et 1921, t. CLXXII, p. 1172; *R. G. E.*, 2 juillet 1921, t. X, p. 2 D.

Dans le champ magnétique, les diverses liqueurs se comportent différemment. La biréfringence des liqueurs, qui contiennent du fer, prend la valeur limite pour 20 gauss, et des liqueurs qui contiennent du nickel, pour 500 gauss environ

Champ magnétique.

| | β | δ | H (champ saturation). |
|---------|---------|----------|-----------------------|
| Fe..... | -1,5 | -0,4 | 20 gauss |
| Ni..... | -0,6 | +0,1 | 500 gauss |

Les autres métaux, comme Cu, Al, Sb, présentent une faible biréfringence pour 3000 gauss ; mais ces métaux — analysés à une balance magnétique, genre Curie — contiennent des traces de fer. De sorte qu'il est possible que l'effet soit dû à ces faibles traces de fer.

Toutes ces liqueurs métalliques présentent, en dehors de tout champ électrique ou magnétique, une *biréfringence spontanée positive*, due probablement à la chute des particules.

2. Si l'on regarde dans l'obscurité la traînée du faisceau lumineux dans le tube de Kerr, au-dessus des électrodes ou dans un plan normal au champ, on constate que le liquide devient lumineux entre les électrodes et que les particules deviennent brillantes au moment de l'établissement du champ et pendant tout le temps que le champ lui est appliqué. Les particules restent brillantes deux à trois minutes après la suppression du champ et s'éteignent avec la biréfringence elle-même.

Le phénomène est plus intense dans le champ électrique avec les poudres de cuivre, d'aluminium et de magnésium. Cette luminosité est visible aussi dans le champ magnétique avec le fer, le cuivre, l'aluminium.

3. Ces phénomènes sont dus à l'*orientation*, des particules métalliques allongées, suivant les lignes de force du champ électrique, où elles forment des filets. Dans le champ magnétique uniforme, seules les particules de fer et de nickel subissent un couple d'orientation, par suite de leur grand coefficient de susceptibilité magnétique.

On suit facilement l'orientation des particules métalliques dans le champ, en observant les phénomènes avec le *microscope*, mis au point sur la cuve et normalement au faisceau lumineux.

Quant à la biréfringence négative, elle est due probablement à la réflexion ou à la diffraction (1) de la lumière sur les filets de particules (2).

Sur l'électrodynamique des milieux homogènes et isotropes en repos (3).

Nous reproduisons ci-après une note de M. Louis ROY, présentée à la séance du 8 mai de l'Académie des Sciences.

On sait que la théorie électrodynamique de Helmholtz fait intervenir une constante purement numérique λ , laissée arbitraire et appelée *constante de Helmholtz*, assujettie seulement à ne pas être négative, sans quoi l'équilibre électrique et magnétique du système serait instable. Se basant sur les expériences de M. Blondlot relatives aux phénomènes de propagation le long d'un fil conducteur, P. Duhem

(1) GOUY, *Annales de Chimie et de Physique*, 1886, t. VIII, p. 145.

(2) Des phénomènes quelque peu analogues, de biréfringence magnétique des fumées métalliques, ont été observés par ELIOT, THOMSON, *Nature*, 1921, t. CVII, p. 521 ; GRAY et SPEARMAN, *Ibid.* p. 619 ; TIERI, *Ibid.*, p. 778.

(3) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 8 mai 1922, t. CLXXIV, p. 1229-1232.

avait cru pouvoir en conclure que la constante λ est le produit du pouvoir inducteur spécifique du vide par sa perméabilité (1). La présente note a pour but d'établir que cette affirmation de P. Duhem ne saurait être conservée.

Rappelons, tout d'abord, comment P. Duhem a été conduit à son affirmation.

Soient $\frac{\epsilon^2}{2}$ la constante fondamentale des actions électrodynamiques; ϵ et ϵ' les constantes fondamentales des actions électrostatiques et magnétiques, c'est-à-dire les coefficients des lois de Coulomb dans des milieux impolarisables; k , κ les coefficients de polarisation et d'aimantation d'un corps homogène, de sorte que le pouvoir inducteur spécifique K et la perméabilité μ de ce corps sont les nombres abstraits définis par les formules

$$K = 1 + 4\pi\epsilon k, \quad \mu = 1 + 4\pi\epsilon' \kappa.$$

Il résulte de la théorie de Helmholtz développée par P. Duhem que la vitesse T de propagation des perturbations électromagnétiques transversales et celle L des perturbations électromagnétiques longitudinales sont données par les formules

$$(1) \quad T^2 = \frac{\epsilon}{\frac{\epsilon'^2}{2} (K - 1) \mu},$$

$$(2) \quad L^2 = \frac{\epsilon}{\frac{\epsilon'^2}{2} \lambda} \frac{K}{K - 1}.$$

Or, dans le vide où la vitesse de la lumière est c , l'expérience donne $T = c$; d'autre part, l'équation de passage des unités électrostatiques aux unités électromagnétiques étant

$$(3) \quad c^2 = \frac{1}{\frac{\epsilon'^2}{2} K_0 \mu_0},$$

l'indice ϵ se rapportant au vide, la formule (1) montre que T ne peut être égal à c dans le vide que si $K_0 - 1$ se confond sensiblement avec K_0 . De là, en remarquant que K_0 est le plus petit des pouvoirs inducteurs spécifiques connus, la nécessité du postulat suivant appelé par P. Duhem *hypothèse de Faraday-Mossotti* : le pouvoir inducteur spécifique d'un corps quelconque est très grand par rapport à l'unité.

Moyennant cette hypothèse, la formule (2) se réduit sensiblement à

$$(4) \quad L^2 = \frac{\epsilon}{\frac{\epsilon'^2}{2} \lambda},$$

de sorte que L est constant pour tous les corps. Or, P. Duhem voyait dans les expériences de M. Blondlot la preuve que les ondes longitudinales se propagent le long d'un fil conducteur avec la vitesse de la lumière; d'où la conséquence $L = c$, exigeant qu'on ait $\lambda = K_0 \mu_0$, d'après les formules (3) et (4).

Montrons maintenant pourquoi cette dernière égalité est inadmissible.

Soient à l'instant t , en un point (x, y, z) du système (X, Y, Z) le champ électrique, $(\mathcal{F}, \mathcal{G}, \mathcal{H})$ le potentiel vecteur total, (u, v, w) le courant de conduction, (A, B, C) l'intensité de polarisation diélectrique, ρ la résistivité, e la densité électrique cubique, σ la densité électrique superficielle

en un point d'une surface séparative S de deux corps contigus; le potentiel électrique en un point est

$$V = \int \frac{e}{r} d\tau + \int \frac{\sigma}{r} dS + \int \left(A \frac{\partial}{\partial \xi} + B \frac{\partial}{\partial \eta} + C \frac{\partial}{\partial \zeta} \right) d\tau,$$

et l'on a les relations

$$(X, Y, Z) = -\epsilon \frac{\partial V}{\partial (x, y, z)} - \frac{\epsilon}{\sqrt{2}} \frac{\partial (\mathcal{F}, \mathcal{G}, \mathcal{H})}{\partial t},$$

$$\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial y} + \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial z} + \lambda \frac{\epsilon}{\sqrt{2}} \frac{\partial V}{\partial t} = 0,$$

$$\rho(u, v, w) = (X, Y, Z), \quad (A, B, C) = k(X, Y, Z),$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial e}{\partial t} = 0.$$

$$\Delta V = 4\pi \left(-e + \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial B}{\partial y} + \frac{\partial C}{\partial z} \right).$$

Soit, d'autre part

$$\eta = \frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z}$$

la divergence du champ électrique; les équations précédentes donnent aisément

$$(5) \quad 0 = -\epsilon \Delta V + \lambda \frac{\epsilon^2}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2},$$

$$\frac{\partial \Delta V}{\partial t} = 4\pi \left(\frac{\rho}{\epsilon} + k \frac{\partial \theta}{\partial t} \right),$$

d'où l'on déduit, en éliminant ΔV

$$(6) \quad \frac{4\pi\epsilon}{\rho} \theta + K \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda \frac{\epsilon^2}{2} \frac{\partial^3 V}{\partial t^3}.$$

Mais, dans l'hypothèse de Faraday-Mossotti, qui reste indispensable pour concilier la formule (1) avec l'expérience, le potentiel V vérifie l'équation

$$\frac{4\pi\epsilon}{\rho} \left(-\epsilon \Delta V + \lambda \frac{\epsilon^2}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \right) + K \frac{\partial}{\partial t} \left(-\epsilon \Delta V + \lambda \frac{\epsilon^2}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \right) = 0$$

qui devient d'après l'équation (5)

$$\frac{4\pi\epsilon}{\rho} \theta + K \frac{\partial \theta}{\partial t} = 0,$$

de sorte que l'équation (6) exige qu'on ait $\lambda \frac{\partial^3 V}{\partial t^3} = 0$.

Or on ne peut satisfaire à cette condition en posant $\frac{\partial^3 V}{\partial t^3} = 0$, car le potentiel électrique V serait alors une fonction parabolique de t , donc deviendrait infini ou resterait invariable; on doit donc avoir nécessairement $\lambda = 0$, d'où il résulte, d'après la formule (4), qu'il n'y a plus d'ondes longitudinales.

La théorie de Helmholtz, complétée par l'hypothèse de Faraday-Mossotti et où la constante λ était laissée arbitraire, conduisait déjà à des équations du champ magnétique identiques à celles de Maxwell; mais, en ce qui concerne le champ électrique, le potentiel vecteur et le potentiel électrique, la discordance subsistait. La constante λ étant, en outre, particularisée comme nous l'avons dit, la concordance devient complète. La théorie de Helmholtz, qui a l'avantage de se développer suivant les règles d'une logique impeccable et de ne point briser la tradition, constitue ainsi, selon nous, la véritable démonstration des équations de Maxwell, dont l'établissement laissait jusqu'ici fort à désirer, de l'avis même de leurs plus ardents défenseurs.

(1) P. DUHEM. Notice sur ses travaux scientifiques. p. 103; Bordeaux, 1913.

SECTION INDUSTRIELLE

Usine hydro-électrique de Beaumont-Monteux

Les installations électriques de l'usine

Dans le précédent numéro « R. G. E. » on a donné une description d'ensemble de l'aménagement de cette usine et de ses dépendances qui sont établies au confluent de l'Isère et du Rhône. L'Etude ci-dessous est consacrée à une revue détaillée des installations électriques : des alternateurs, postes de transformation du type extérieur, interrupteurs à huile triphasés composés d'éléments monophasés et dispositif pour le contrôle permanent de la qualité de l'huile. La ligne de transformation d'énergie reliant l'usine à Saint-Etienne et à Saint-Chamond sera publiée ultérieurement.

Généralités. — L'usine de Beaumont-Monteux est caractérisée par son poste de transformation, dont les transformateurs élevant la tension de 5 500 à 120 000 v, les interrupteurs à huile, les sectionneurs, les parafoudres électrolytiques et les barres-omnibus à 120 000 v, sont installés entièrement en plein air.

Les alternateurs, les services auxiliaires et les panneaux et pupitres de commande et de contrôle des circuits à 6000 v et à 120 000 v sont montés dans la salle des machines, suivant la coutume habituelle.

L'installation à l'extérieur de la partie à 120 000 v a été déterminée par l'économie réalisée sur le très grand bâtiment qu'il aurait fallu édifier pour abriter l'appareillage électrique, le prix des appareils du type intérieur et extérieur étant sensiblement le même.

La construction et le montage du matériel électrique de la centrale de Beaumont-Monteux et de la sous-station de Saint-Etienne ont été confiés à la Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston qui, possédant la licence d'exploitation en France des brevets et procédés de la grande société américaine la General Electric Company, était en mesure de livrer un matériel à très haute tension pour installation extérieure muni de tous les perfectionnements sanctionnés par l'expérience. La General Electric Company a, en effet, depuis plusieurs années, réalisé des postes de ce genre d'une très grande puissance qui, en toutes circonstances, ont donné pleine satisfaction aux exploitants.

Une grande partie du matériel a cependant été construit dans les ateliers français de la Compagnie française Thomson-Houston qui s'est attaché un personnel technique spécialisé dans ce genre de constructions et a installé, dans ses nouvelles usines, l'outillage perfectionné nécessité par l'emploi des méthodes de construction américaine.

Alternateurs. — Les sept alternateurs de l'usine de la Basse-Isère (fig. 1 à 3) sont à axe vertical et peuvent fournir normalement une puissance de 5 720 kv-a. Ils sont bobinés pour une tension entre phases de 5 500 à 6 200 v et une fréquence de 50 p : s et tournent à la vitesse de 107 t : mn. Leur diamètre d'alésage est de 4,880 m, de telle sorte que la vitesse périphérique, en fonctionnement normal, est d'environ 27,50 m : s. Le P/D^2 est de 600 000 kg-m².

Le rotor comporte 56 pôles fixés par vis en acier-nickel sur un volant en deux pièces, en acier coulé; chaque pôle est composé d'un paquet de tôles découpées, serrées entre deux flasques en acier coulé. Ce rotor est prévu pour résister à une vitesse d'emballage pouvant atteindre 225 t : mn (soit 2,1 fois la vitesse normale) correspondant à une vitesse périphérique de 58 m : s.

Le stator comporte un bobinage du type réparti en deux couches, de telle sorte qu'il y a autant de bobines que d'encoches.

Chaque conducteur est divisé en six fils de section rectangulaire groupés en parallèle, chacun de ceux-ci étant isolé par un guipage de coton. Cette division réduit l'importance des courants de Foucault et donne plus de souplesse à la bobine, ce qui a permis de confectionner la bobine par simple étirage d'un écheveau et d'arriver, d'un coup, à la forme désirée, sans être astreint à la confection des bobines sur forme et gabarit. Des machines spéciales réalisent facilement cette confection de bobines par étirage.

La bobine, une fois amenée à sa forme, reçoit plusieurs enrubannements au papier micaté et à la toile huilée. A chaque opération, elle séjourne en des cuves remplies d'un vernis spécial et où elle est soumise successivement au vide et à la compression. Ce traitement enlève tout l'air occlus dans le coton et entre les rubans

isolants et donne une parfaite compacité à l'isolant des conducteurs. Les bobines ainsi obtenues, non seulement ne présentent plus, à l'intérieur, de trace d'air susceptible de s'ozoniser et d'altérer les matières isolantes, mais sont, en outre, parfaitement rigides et de bel aspect.

Le système de bobinage adopté ne comporte que des bobines identiques entre elles. Avant leur mise en place, ces bobines sont essayées à la tension de 13 000 v. Le bobinage comporte 2,14 encoches par pôle et par phase et un pas raccourci, de telle sorte que les har-

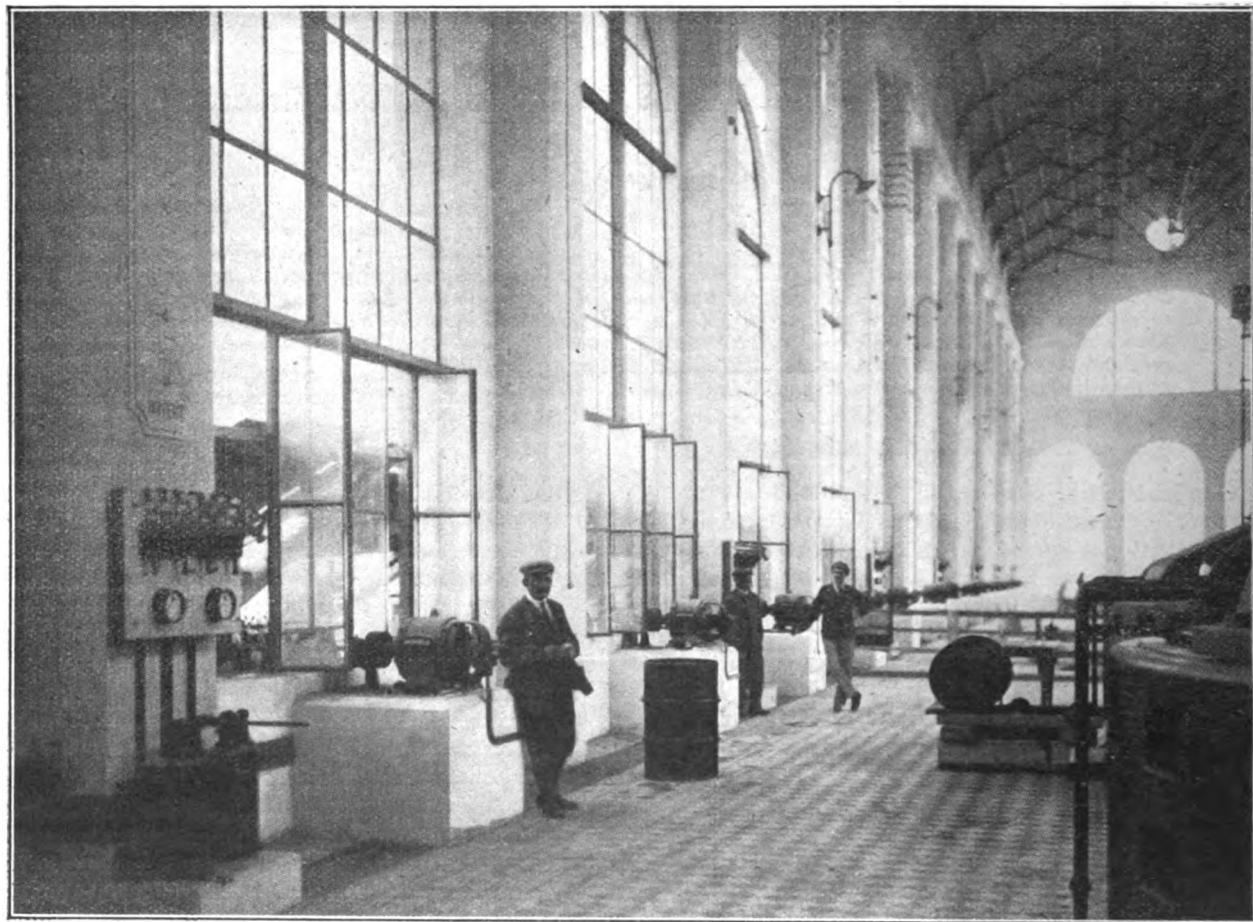


Fig. 1. — Vue de la salle des alternateurs de l'usine de Beaumont-Montoux.

moniques de denture qui, autrement, seraient importants en raison de l'ouverture des encoches et du petit nombre d'encoches par pôle, sont très diminués et la forme générale d'onde se rapproche beaucoup de la sinusoïde parfaite. Le raccourcissement du pas offre, en outre, l'avantage de diminuer le poids du cuivre et l'encombrement du bobinage dans le sens de l'axe.

Le bobinage du rotor est constitué au moyen de rubans de cuivre enroulés sur champ, les spires étant isolées entre elles par des bandes de pressapahn.

Excitatrice. — L'excitatrice, à huit pôles, montée en bout d'arbre, est compound, à pôles supplémentaires, et fournit, à chaque alternateur, sous 250 v, la puissance de 80 kw, nécessaire à son excitation. Cette dynamo étant à tension variable, le rhéostat d'alternateur a été supprimé. Elle est prévue

pour l'installation ultérieure de régulateurs Tirrill.

Un dispositif spécial, se composant d'un relais volt-métrique alimenté par le transformateur de potentiel de l'alternateur et d'un contacteur court-circuitant une partie du rhéostat d'excitation de l'excitatrice, a été installé sur chaque groupe de façon à ramener automatiquement à une faible valeur la tension alternative de l'alternateur après chaque déclanchement.

Transformateurs. — Le courant à 6 200 v des alternateurs est élevé à 120 000 v par cinq groupes de trois transformateurs monophasés, type extérieur. Un transformateur monophasé supplémentaire est en réserve pour servir de rechange en cas d'accident (actuellement trois groupes de transformateurs seulement sont installés).

La puissance de chaque transformateur monophasé

est de 3 333 kv-a. La tension primaire est de 5 500 à 6 200 v et la tension secondaire de 55 400 ou 69 200 v. Les primaires sont montés en triangle et les secondaires en étoile.

La figure 4 et le tableau ci-dessous donnent les diffé-

rents rapports de transformation que l'on peut obtenir par les différents couplages des prises placées au milieu du bobinage, les bornes d'entrée et de sortie étant toujours connectées aux mêmes bobines extrêmes qui sont isolées spécialement.

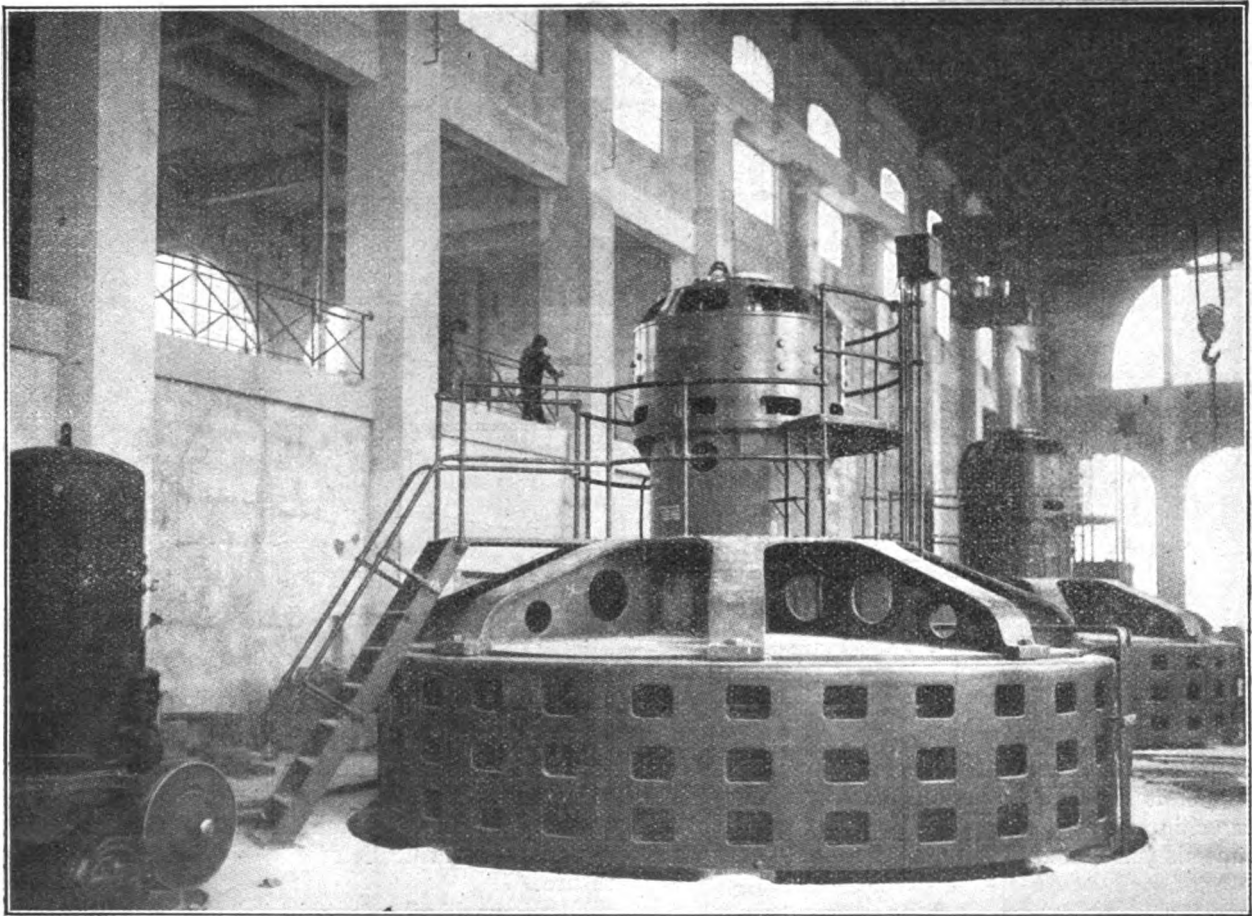


Fig. 2. — Vue d'un alternateur.

| CONNEXIONS | | | | | | | | |
|------------------------------------|------|------------|--------|---------|-------------------------------------|---------|-------|-----|
| HAUTE TENSION LIGNES EN 1 ET 15 | | | | | BASSE TENSION LIGNES EN 10 ET 17 | | | |
| volts | amp. | connexions | | | volts | amp. | | |
| 69 200 | 48,2 | 3 à 4 | 6 à 10 | 12 à 13 | 6 200 | 537 | | |
| | | 3 à 4 | 6 à 9 | 12 à 13 | 6 045 | 552 | | |
| | | 3 à 4 | 7 à 10 | 12 à 13 | 5 870 | 567 | | |
| | | 3 à 4 | 7 à 9 | 12 à 13 | 5 735 | 582 | | |
| | | 3 à 4 | 7 à 8 | 12 à 13 | 5 580 | 597 | | |
| 55 400 | 48,2 | 2 à 4 | 3 à 5 | 6 à 10 | 11 à 13 | 12 à 14 | 6 200 | 430 |
| | | 2 à 4 | 3 à 5 | 6 à 9 | 11 à 13 | 12 à 14 | 6 045 | 442 |
| | | 2 à 4 | 3 à 5 | 7 à 10 | 11 à 13 | 12 à 14 | 5 870 | 454 |
| | | 2 à 4 | 3 à 5 | 7 à 9 | 11 à 13 | 12 à 14 | 5 735 | 466 |
| | | 2 à 4 | 3 à 5 | 7 à 8 | 11 à 13 | 12 à 14 | 5 580 | 478 |

N.B. — Le transformateur doit être connecté en étoile pour fonctionner sur circuit à 120 000 v.

Les cuves des transformateurs sont montées sur des chariots portés par quatre galets reposant sur des rails scellés dans les massifs de fondation.

Un lorry, sur lequel deux rails sont fixés de manière à prolonger à leur hauteur les rails des massifs, peut se déplacer sur une voie passant devant tous les transformateurs et pénétrer dans la salle des machines sous le pont roulant, ce qui permet le transport et le démon- tage facile des appareils.

Les cuves sont cylindriques et ont un diamètre de 2,15 m et une hauteur de 4,70 m comptée de la base au-dessus du couvercle et de 6,40 m jusqu'à la partie supérieure des bornes.

Le noyau magnétique de ces transformateurs mono- phasés, à colonnes, est formé de trois branches verti- cales — celle du milieu étant seule bobinée — et de deux culasses horizontales. Les bobinages haute et basse tensions sont du type à galette. Ils sont isolés l'un de

l'autre par un cylindre en matière isolante et un espace dans lequel circule l'huile.

Ces bobinages sont traités spécialement, de façon à obtenir un isolement parfait. Ils sont montés d'une fa-

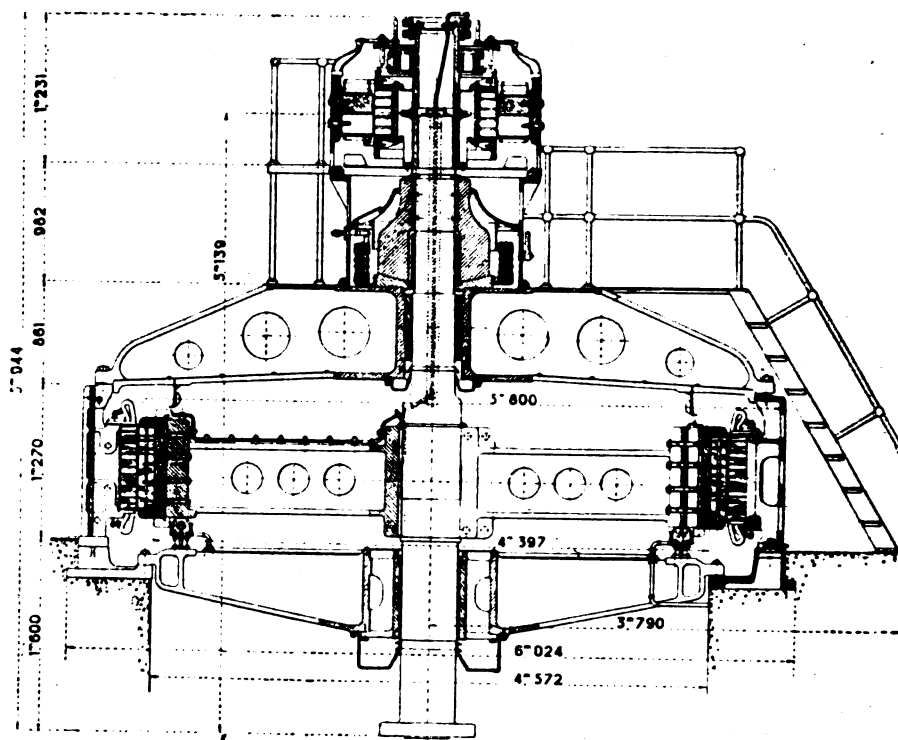


Fig. 3. — Coupe d'un alternateur de 5 720 kv-A, 6 000 v, 50 p : s, 107 t : mn et de son excitatrice de 80 kw, 250 v.

çon telle qu'ils offrent une résistance mécanique très grande, de sorte qu'en cas de court-circuit les efforts magnétiques qui s'exercent verticalement se trouvent transmis par l'intermédiaire des bobines et des cales

tin se fait par un robinet à trois voies permettant de le vidanger. Le tuyau de sortie du serpentin est interrompu de façon à déverser l'eau dans un entonnoir et à permettre la vérification facile du débit et de la température.

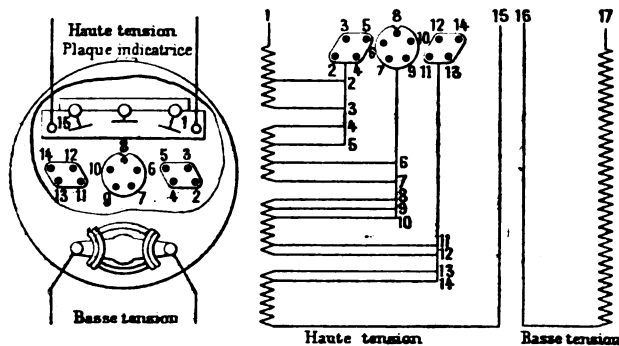


Fig. 4. — Schéma des connexions pour le réglage de la tension des transformateurs.

aux galettes extrêmes qui s'appuient sur des supports spéciaux fixés aux culasses.

Les transformateurs sont du type immergé dans l'huile, à refroidissement par eau circulant dans un serpentin en cuivre, fixé à l'intérieur de la partie supérieure de la cuve (fig. 5). L'alimentation de ce serpen-

tin se fait par un robinet à trois voies permettant de le vidanger. Le tuyau de sortie du serpentin est interrompu de façon à déverser l'eau dans un entonnoir et à permettre la vérification facile du débit et de la température.

Le volume d'huile nécessaire à chaque transformateur est de 12 000 litres ; le débit de l'eau de refroidissement à 25° doit être de 68 litres par minute pour que l'élévation de température du bobinage soit limitée à 55°C.

Un thermomètre à cadran, placé sur le côté de la cuve et réuni par une connexion souple à la partie supérieure de l'huile, en indique à tout moment la température. Un dispositif de contact peut alimenter un signal d'alarme.

Ces transformateurs sont munis d'un réservoir cylindrique, appelé compensateur d'huile (fig. 5) placé au-dessus de la cuve et communiquant avec elle par une tubulure.

Cette disposition permet de maintenir la cuve du transformateur toujours complètement pleine d'huile sous pression et de n'avoir absolument aucune trace d'humidité dans celle-ci. Les différences de niveau d'huile se font uniquement dans le compensateur qui est muni d'un niveau. L'air y pénètre par l'intermédiaire d'un sécheur d'air (fig. 5) formé d'un petit réservoir de 3 décimètres cubes environ, rempli par du chlorure de calcium qui retient l'humidité.

Un tuyau de 20 cm environ de diamètre permet, en cas de court-circuit, l'évacuation de l'huile à l'extérieur, de façon à éviter une rupture des cuves ou un arrachement des couvercles. Le tuyau est boulonné sur le couvercle de la cuve principale et est recourbé et fermé à

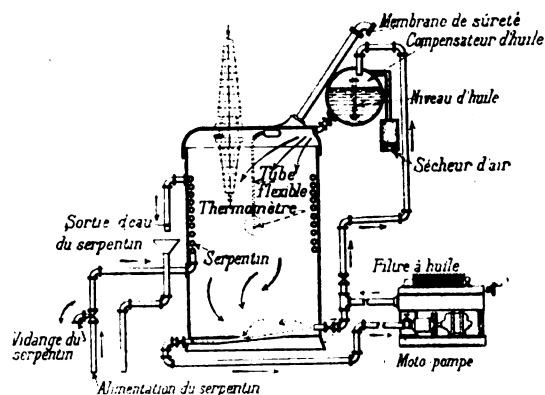


Fig. 5. — Schéma des différents accessoires des transformateurs.

son autre extrémité par une membrane qui se déchire et laisse échapper l'huile en cas de surpression.

La tuyauterie d'huile de ces transformateurs est disposée de manière à permettre, pendant qu'ils sont en service, de procéder au filtrage de l'huile. Celle-ci est aspirée par la pompe du filtre-pressé à la partie inférieure de la cuve et est d'abord refoulée à une faible hauteur du fond, ce qui permet de filtrer d'une façon spéciale l'huile du fond de la cuve qui contient le plus d'humidité et de dépôt à éliminer.

Cette première partie de l'épuration étant terminée, l'huile est refoulée uniquement à la partie supérieure de la cuve.

Les bornes des transformateurs sont du type à 135 000 v (fig. 6 et 7) et à remplissage d'huile; elles sont composées essentiellement de deux porcelaines réunies par un manchon en fonte fixé par un joint étanche sur la cuve des transformateurs. Le câble conducteur traverse l'isolateur dans un tube central et vient se fixer, à la partie supérieure, à la prise de courant extérieure.

L'espace compris entre ce tube et la porcelaine est occupé par un certain nombre de cylindres isolants, concentriques, laissant entre eux un intervalle rempli d'huile. Une feuille métallique est intercalée dans les isolants, de façon à former condensateur et à assurer une répartition convenable du potentiel. L'ensemble de la borne forme un réservoir étanche dont on vérifie le remplissage par le cylindre en verre servant de niveau, placé à la partie supérieure de la borne.

Tableau de distribution et appareillage. — Le tableau est placé au centre de la salle des machines et au premier étage de façon à permettre de voir tous les alternateurs. Il se compose de 9 pupitres et 19 panneaux droits.

Les 8 pupitres sont prévus pour les 7 alternateurs et

le couplage des barres-omnibus à 6 000 v; 2 colonnes portant les appareils de synchronisation sont placées sur les pupitres.

Les 19 panneaux sont employés de la façon suivante :

- 2 pour les deux départs à 120 000 v ;
- 2 en blanc pour 2 départs éventuels à 120 000 v ;
- 5 pour les transformateurs de 10 000 kv-A, 5 500, ou 6 200 à 120 000 v ;

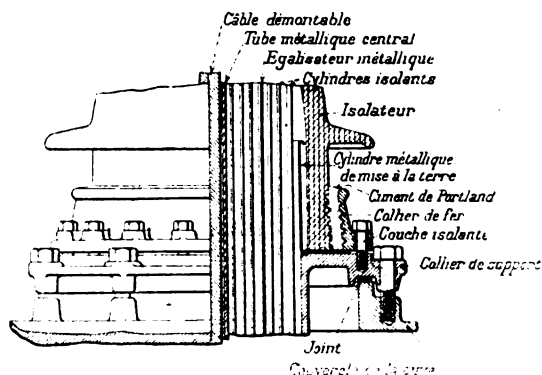


Fig. 6. — Borne de transformateurs à 135 000 v à remplissage d'huile. — Fig. 7. Détails de construction d'une borne à 135 000 v.

- 2 pour l'excitation des alternateurs ;
- 1 pour les compteurs des alternateurs ;
- 1 pour les compteurs des services auxiliaires ;
- 1 pour le départ à 6 000 v (prise d'eau).
- 1 pour la haute tension des transformateurs des services auxiliaires ;
- 1 pour la basse tension des transformateurs des services auxiliaires ;
- 1 pour le groupe de charge de la batterie d'accumulateurs ;
- 1 pour les différents départs des services auxiliaires ;
- 1 pour l'éclairage de l'usine.

Le schéma général (fig. 8) indique les différentes connexions de l'usine.

Matériel à 6 000 volts. — Le courant des alternateurs est amené par des barres de cuivre supportées par des isolateurs dans une salle où sont installés deux jeux de barres-omnibus. Ces barres sont montées dans des cellules en ciment armé qui assurent entre elles une parfaite séparation. Les alternateurs débitent sur l'un ou l'autre jeu de barres-omnibus, par l'intermédiaire de sectionneurs et d'interrupteurs à huile servant à leur couplage. Tous ces interrupteurs sont à déclenchement à maxima et commandés par des relais à action différée. Les deux jeux de barres peuvent être couplés en parallèle par un interrupteur à huile spécial. La basse tension de chaque groupe des transformateurs tri-

GROUP: MOTEUR ASYNCHRONÉ
DE CHARGE DE LA BATTERIE

2 TRANSFORMATEURS DE 200 KVA 6200/216"

DEPART SERVICE
AUXILIAIRE EXTERIEUR

COMPTAGE
SERVICE AUXILIAIRE

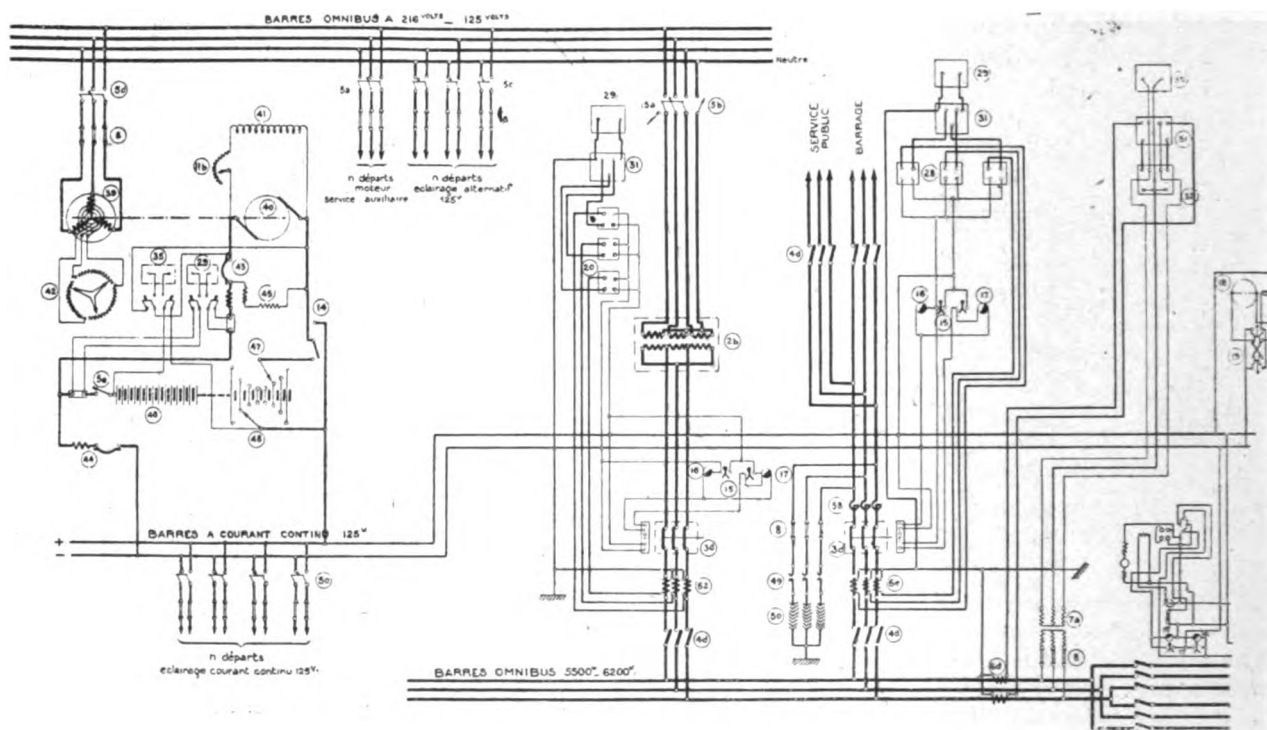


Fig. 8. — Schéma général des connexions

- | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1, alternateur 4 000 kw, 5 720 kv-a, 5 500 6 200 v, 50 p. s, 107 t. m; | 4b, sectionneur SP. SD, 7 500 v, 1 100 A; | 6e, transformateur d'intensité 4 015. |
| 2a, transformateurs de puissance, 10 000 kv-a triangle-étoile 5 500 v, 6 200 120 000 v; | 4c, sectionneur 120 000 v, 350 A; | 7a, transformateur de potentiel triphasé 6000/100; |
| 2b, transformateur de puissance 260 kv-a, triangle-étoile 6 200 v/210 v, 125 v, neutre-sorti; | 4d, sectionneur 7 500 v, 200 A, S D S P; | 7b, transformateur de potentiel monophasé 6 000 100; |
| 3a, interrupteur à huile FH 3, 15 000 v, 800 A, commande par moteur C.C. 125 v, tirette au pupitre; | 5a, interrupteur 216 v, 800 A triphasé; | 8, fusible à expulsion; |
| 3b, interrupteur à huile FKO 36, 120 000 v; | 5b, interrupteur 216 v, 200 A monophasé; | 10, excitatrice en bout d'arbre MP 8.80 kw, 250 v, compound. |
| 3d, interrupteur à huile FH 3, 15 000 v, 350 A; | 5c, id diphasé 125 v; | 11a, rhéostat d'excitation; |
| 3e, interrupteur à huile PH 3, 1 100 A 15 000 v; | 5d, id triphasé 216 v, 200 A; | 11b, rhéostat de démarrage; |
| 4a, sectionneurs SP-SD, 7 500, 500 A; | 5e, id monophasé 216 v, 60 A; | 12, contacteurs de réglage d'excitation; |
| | 6a, transformateur d'intensité I. B. A., 1 000 5; | 13, relais voltétrique; |
| | 6b, transformateurs d'intensité I. B. A., 800 A; | 14, interrupteurs à double direction; |
| | 6c, transformateur d'intensité de traversée; | 15, tirettes de commande; |
| | 6d, transformateur de potentiel 300 5, | 16, lampe rouge; |

phasés de 10 000 kv-a est alimentée par l'un ou l'autre jeu de barres, suivant la position des sectionneurs, et par l'intermédiaire d'un interrupteur à huile. Cette alimentation se fait par des barres de cuivre nu partant des barres-omnibus et aboutissant à l'extérieur sur un portique passant au-dessus de tous les transformateurs.

Un jeu de barres de services auxiliaires, pouvant s'alimenter par deux sectionneurs triphasés sur l'un ou l'autre des deux jeux de barres principaux, distribue le courant, par l'intermédiaire d'interrupteurs à huile à maxima et de sectionneurs, aux deux transformateurs de 260 kv-a servant à l'alimentation, en basse tension, de l'usine, et à un départ aérien, destiné à fournir la puissance à un transformateur de 60 kv-a alimentant, sous 220 v, les moteurs des treuils, des vannes et des volets du barrage.

Dans la salle des cellulages se trouvent les différents

transformateurs de potentiel et d'intensité placés sur les arrivées des alternateurs et sur les départs aux transformateurs. Ils servent à l'alimentation de tous les appareils de mesure et de synchronisation relatifs au circuit à 6 000 v.

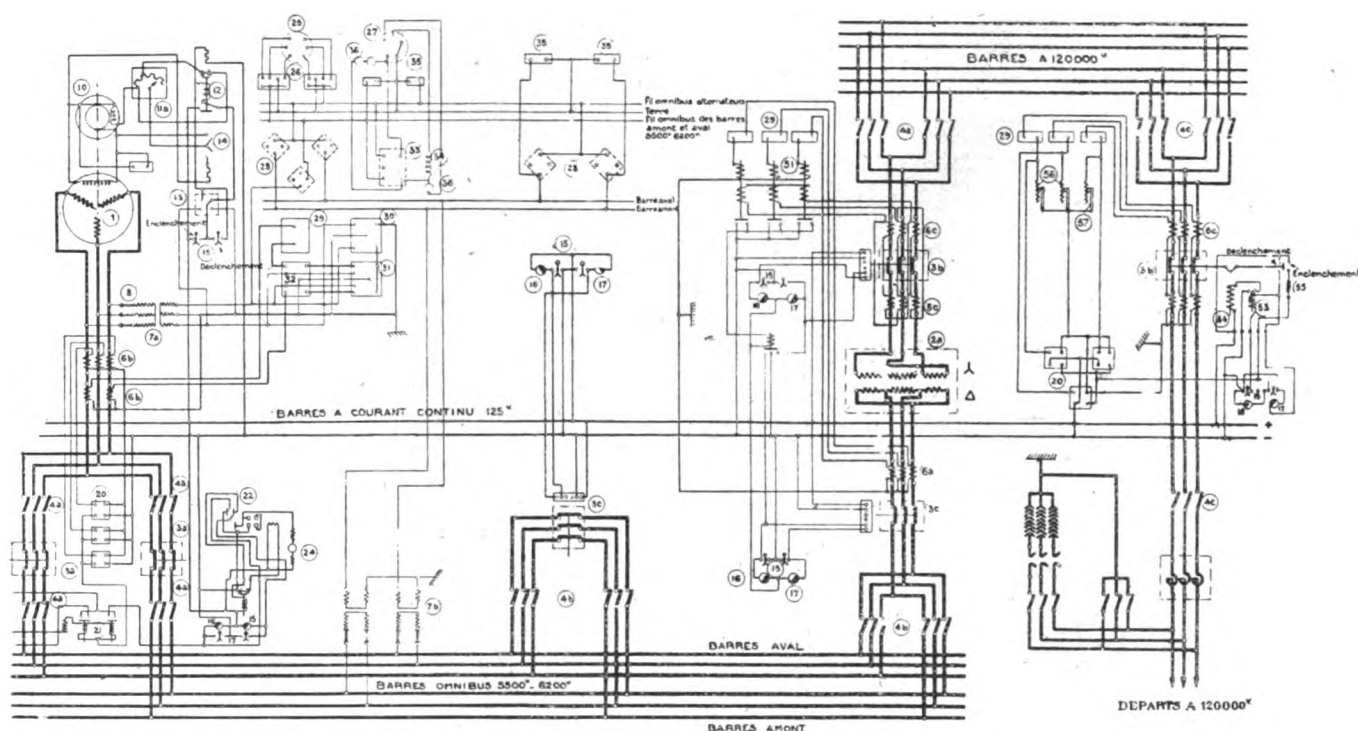
Les 23 interrupteurs à huile, à 6 000 v, type FH 3 (fig. 9), sont placés au-dessus des barres-omnibus sur une seule rangée, derrière les panneaux droits. Ce type d'appareil, en service depuis de nombreuses années dans un grand nombre de centrales, a été adopté en raison des avantages spéciaux qu'il présente. Sa conformation permet de le placer dans une salle indépendante des circuits haute tension, de telle sorte que la visite et l'entretien des différents organes est très facile. Sa capacité de rupture, de 90 000 kv-a par pôle, permet, étant donnée la réactance des alternateurs, de couper tous les courts-circuits sans détérioration de l'appa-

7 ALTERNATEURS 3720 KVA 4000 KV.

COUPLAGE

5 TRANSFORMATEURS 10000 LVA

2 DEPARTS 120000 V



de l'usine de Beaumont-Montoux.

- 17, lampe verte ;
- 18, moteur de réglage ;
- 19, tirette de changement de marche ;
- 20, relais à maximum ;
- 21, relais intermédiaire ;
- 22, doigt de contact 8 ;
- 23, relais B 10 ;
- 24, moteurs ;
- 25, fréquencemètre double ;
- 26, Résistance et self-inductance du fré-
- quencemètre double ;
- 27, synchronoscope ;
- 28, plots de contact ;
- 29, ampèremètre ;
- 30, phasemètre ;

- 31, wattmètre ;
- 32, compteur ;
- 33, commutateur de synchronoscope ;
- 34, self-inductance de synchronoscope ;
- 35, voltmètre ;
- 36, lampe résistance de synchronoscope ;
- 39, moteur asynchrone 1, 4 pôles, 216 v, 1 430 t. m ;
- 40, dynamo H. M. 8 110 à 200 v, 1 430 t. m ;
- 41, excitation dynamo ;
- 43, disjoncteur à courant continu 200 A, bobine maxima et minima ;
- 44, disjoncteur à courant continu 200 A, bobine maxima ;
- 45, résistance ;

- 46, batterie d'accumulateurs ;
- 47, réducteur de charge ;
- 48, réducteur de décharge ;
- 49, cornes de parafoudres ;
- 50, parafoudres électrolytiques ;
- 51, relais de protection différentielle des transformateurs 10 000 kv-a ;
- 52, relais de déclenchement des interrupteurs ;
- 53, relais B. 10 ;
- 54, séle-noïde d'enclenchement ;
- 55, bobine de déclenchement ;
- 56, boîtes de résistances ;
- 57, commutateur de réglage ;
- 58, bobine de self-réactance.

reil. La quantité d'huile, de six litres par pot, écarte, d'autre part, tout danger d'incendie en cas d'accident.

Ses principaux organes sont : le mécanisme dont le mouvement est commandé par un moteur à courant continu ; l'ensemble des contacts et des cuves à huile dans lesquels se fait la rupture du circuit.

Le moteur électrique commandant le mécanisme comprime, à chaque fin de course, des ressorts à boudin qui interviennent au début de la course suivante pour provoquer un mouvement très brusque de l'appareil. La durée d'enclenchement ou de déclenchement est d'environ trois cinquièmes de seconde.

Les cuves cylindriques, en acier forgé, peuvent résister à des pressions considérables. Elles ne sont pas complètement remplies d'huile, de façon à réserver à la partie supérieure un espace pour le dégagement des gaz. Des cloisonnements horizontaux en matière iso-

lante évitent les remous d'huile. Pour chaque cuve il y a deux cuves portant intérieurement, à leur partie inférieure, une mâchoire fixe circulaire reliée électriquement à la prise de courant. A chaque groupe de cuves correspond un contact mobile solidaire du mécanisme par une bielle isolante. Ce contact mobile est formé de deux tiges réunies à leur partie supérieure par une pièce conductrice qui porte également des contacts largement dimensionnés qui viennent s'appuyer à la partie supérieure des cuves ; les deux tiges établissent et coupent le circuit, le contact extérieur n'intervenant qu'après la fermeture et avant la rupture.

Matériel à 120000 volts — Les transformateurs élevant la tension de 5500-6200 v à 120000 v, que nous avons décrits précédemment, sont placés à l'extérieur sous une charpente en fer supportant l'ensemble

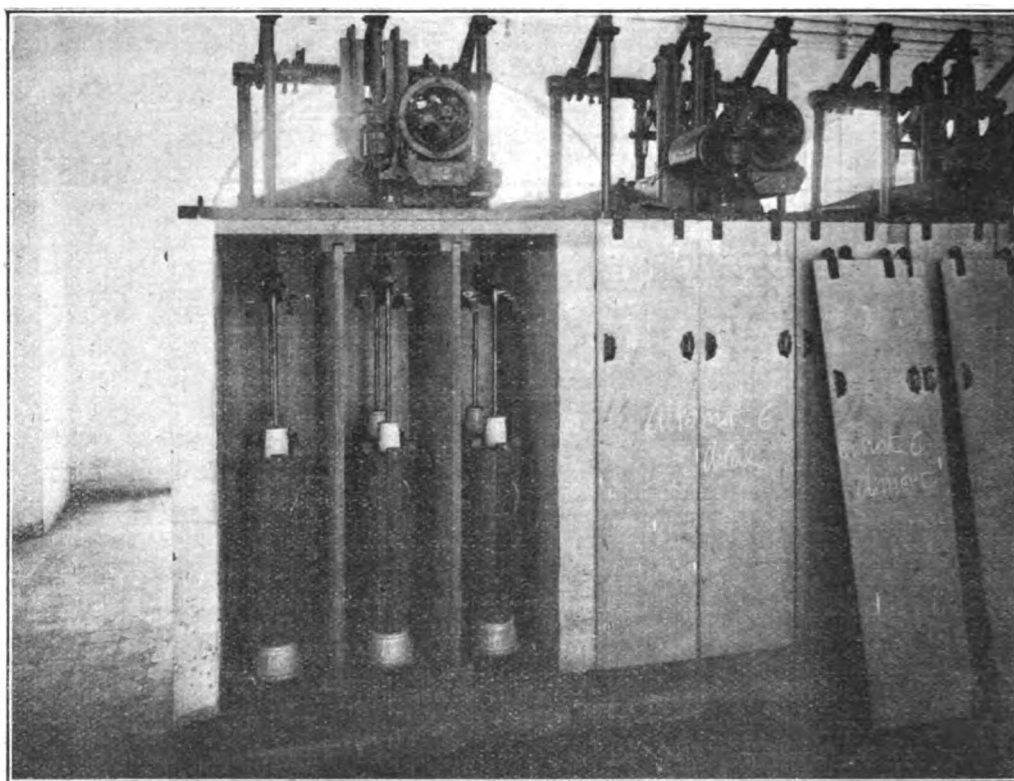


Fig. 9. — Vue d'un interrupteur à huile triphasé, type 15 000 v.

des connexions à 120 000 v (fig. 10, 11, 12, 13, 14, 15). Le point neutre haute tension de chaque groupe de transformateurs est mis à la terre et les trois autres

bornes alimentent l'un ou l'autre jeu de barres-omnibus à 120 000 v, par l'intermédiaire d'interrupteurs à huile et de sectionneurs.

Les deux lignes de départ vers Saint-Etienne peuvent être alimentées par l'un ou l'autre jeu de barres-omnibus par l'intermédiaire de sectionneurs et d'un interrupteur à huile placés sur chacune d'elles. Les circuits à 120 000 v sont protégés par des parafoudres électrolytiques, avec les différents sectionneurs et commutateurs nécessaires à leur manœuvre.

Les deux jeux de barres-omnibus sont constitués par des câbles en aluminium d'un diamètre total de 15,8 mm, avec âme en acier de 6,5 mm de diamètre. Ils sont placés en une nappe horizontale à la partie supérieure du

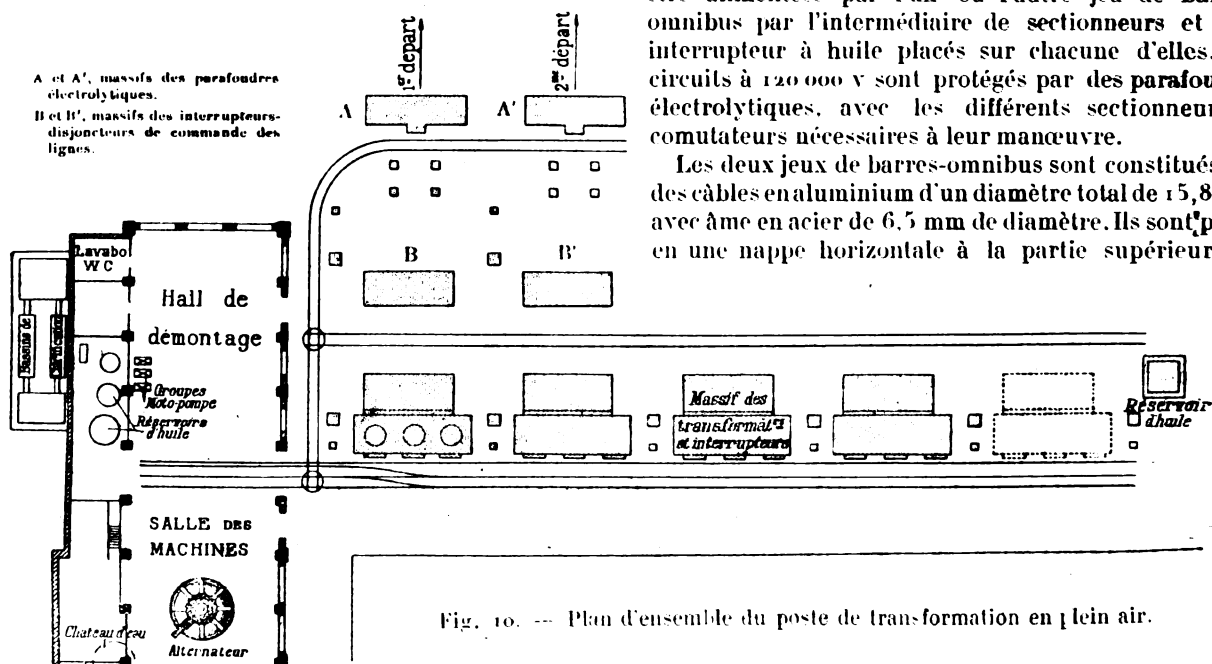


Fig. 10. — Plan d'ensemble du poste de transformation en plein air.

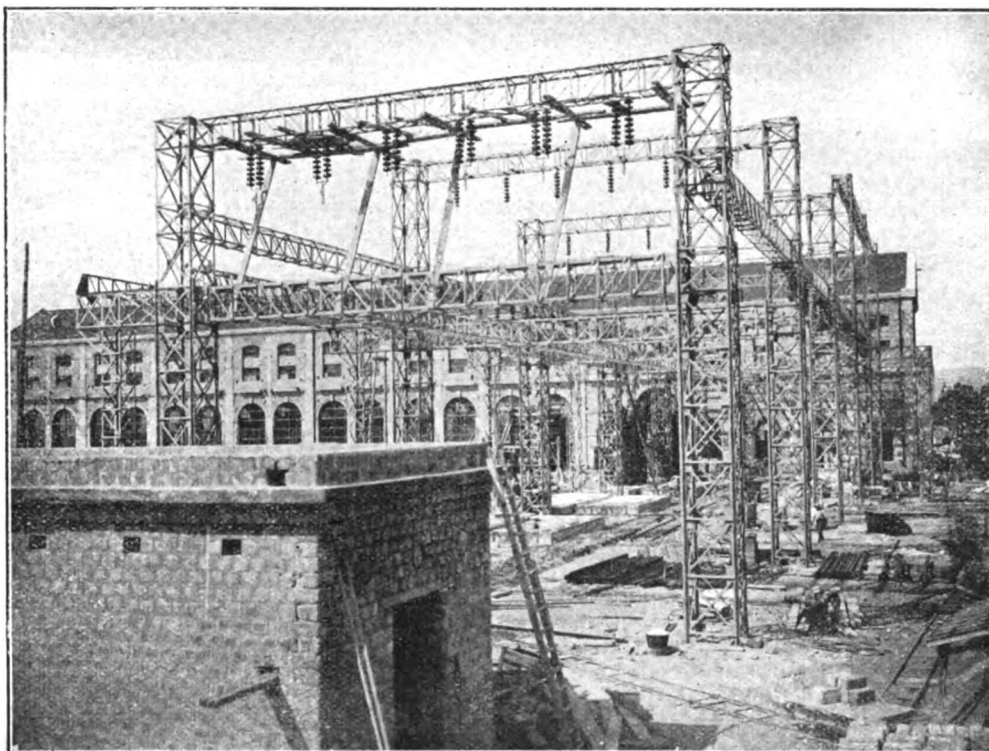


Fig. 11. — Vue du poste de transformation en cours de montage.

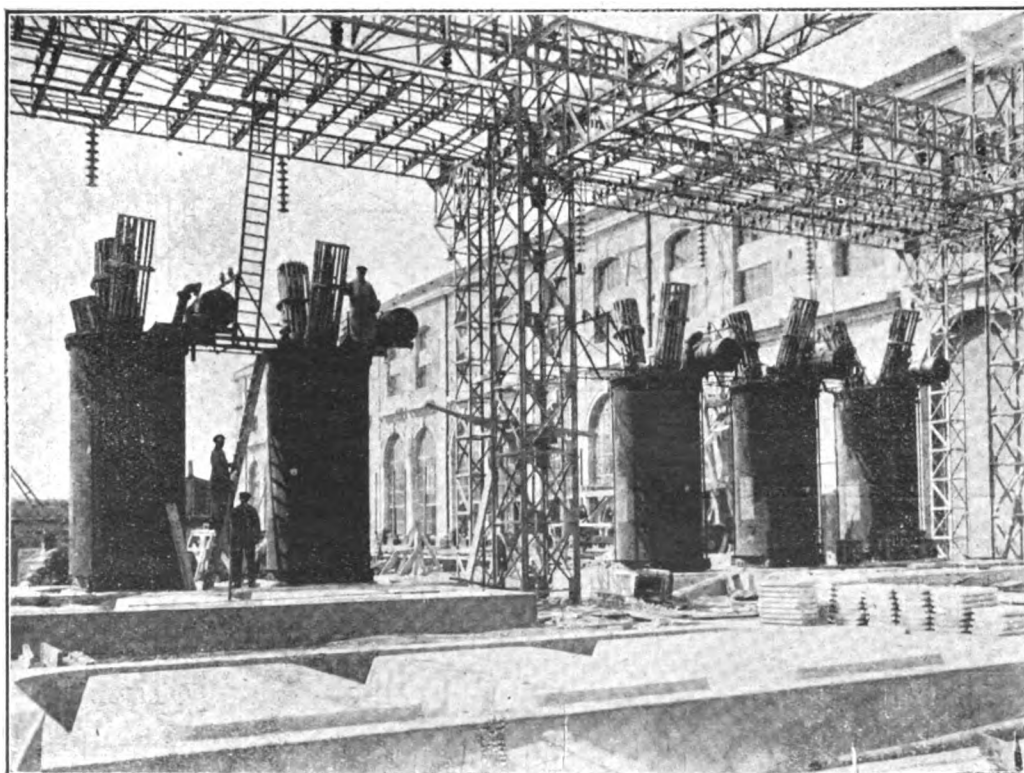


Fig. 12. — Vue des transformateurs en cours de montage.

poste. Chaque fil est tendu à ses extrémités par une double chaîne d'isolateurs Hewlett, dont chacune est formée de 8 rondelles et assemblée par un palonnier de façon à répartir les efforts mécaniques. Ces chaînes, qui se trouvent placées horizontalement, sont munies à leur extrémité, du côté du conducteur, de cornes assurant une meilleure répartition du potentiel. Le fil est supporté sur sa longueur par des chaînes horizontales formées de 7 rondelles.

Dans la partie du poste extérieur correspondant à l'emplacement de chaque transformateur, 6 conducteurs auxiliaires sont placés perpendiculairement aux barres-omnibus en une nappe horizontale se trouvant dans un plan inférieur à ces dernières; ils assurent les différentes connexions entre les barres-omnibus, les transformateurs et les deux lignes.

Les rondelles en porcelaine constituant une chaîne d'isolateurs subissent, en usine, des essais sous tension et des essais de choc qui permettent de mettre au rebut toutes celles présentant une imperfection. Les parties métalliques constituant les chaînes sont

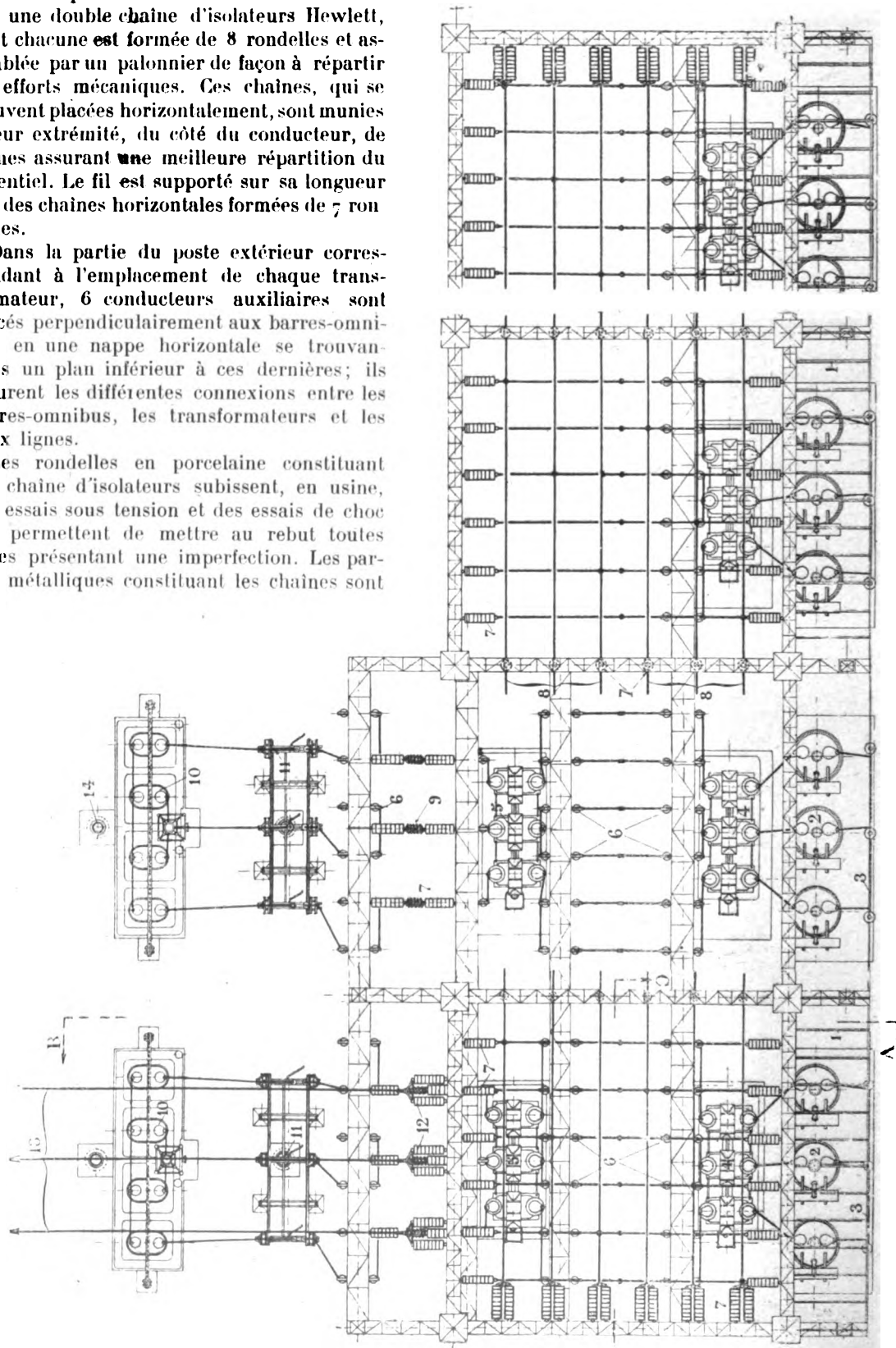


Fig. 13. — Elévation du poste de transmission.

1, Charpente supportant les connexions à 6 000 v des transformateurs; 2, Transformateurs monophasés formant un groupe triphasé de 10 000 kv-a, 5 500-6 200/120 000 v; 3, Neutre des transformateurs; 4, Interrupteur à 135 000 v de transformateur; 5, Interrupteur à 135 000 v de départ de ligne; 6, Sectionneurs 120 000 v; 7, Chaîne d'isolateurs Hewlett; 8, Deux jeux de barres omnibus à 120 000 v; 9, Bobine de self-inductance à 120 000 v; 10, Paratonnerre électrolytique à 120 000 v; 11, Cornes de parafoudre; 12, Isolateurs d'ancrage de ligne; 13, Ligne à 120 000 v; 14, Prises de terre.

réduites au minimum, de façon à éliminer les effets de capacité dans la plus large mesure possible. Dans le cas de rupture d'une rondelle, la chaîne peut continuer à assurer le service, les mailles en cuivre en forme

de U les assemblant se trouvant directement en contact.

Les interrupteurs à huile, du type FKO 36 extérieur normal pour 135 000 v, sont établis d'une façon parti-

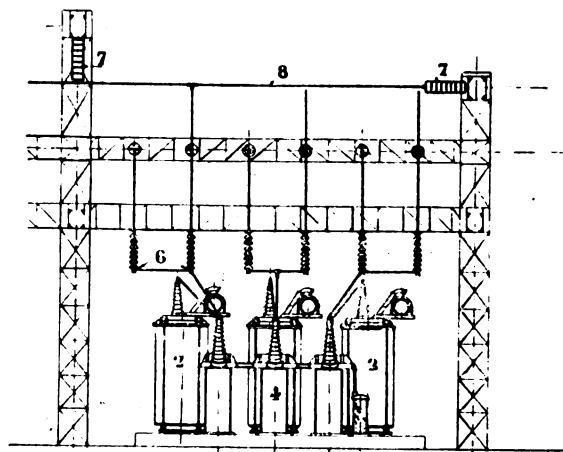
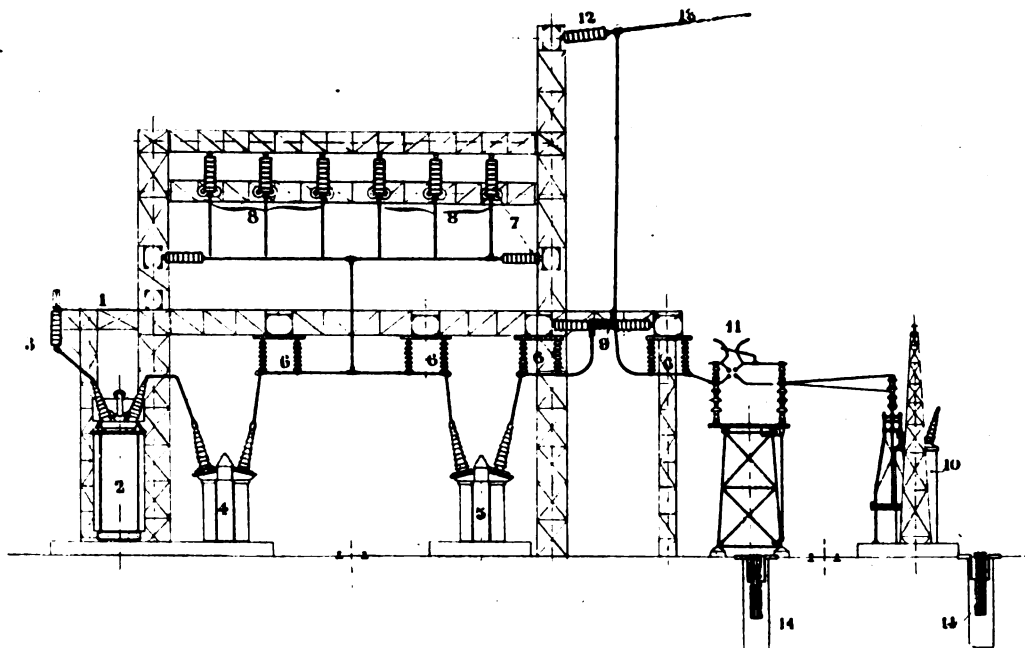


Fig. 14 et 15 — Coupe du poste de transformation suivant A B et C D de la figure 13.

culièrement robuste et, tous les organes en étant largement dimensionnés, donnent une sécurité d'exploitation très grande. Ces appareils, construits sur le modèle établi en Amérique par la General Electric Company, qui en a installé un nombre important dans différents pays, ont toujours donné de très bons résultats aussi bien dans les régions à climat tempéré que

dans l'Amérique du Nord où il y a des chutes de neige abondantes.

Les interrupteurs FKO 36 se composent de trois éléments unipolaires comprenant : une cuve doublée d'une chemise isolante ; un mécanisme placé à la partie supérieure et actionnant la partie mobile ; les contacts fixes sont supportés par des traversées en porcelaine inclinées sur le couvercle, de façon à diminuer les dimensions de la cuve et à accroître, à l'extérieur, la distance entre bornes. Ces traversées sont du même type que celles décrites pour les transformateurs.

La rupture se fait dans une chambre d'explosion dont le fonctionnement est analogue à celle des interrupteurs H employés sur les circuits à 6 000 v. Ce dispositif donne aux appareils une capacité de rupture très élevée permettant de couper 2 400 A sous 135 000 v.

Un solénoïde d'enclenchement, commandé du tableau principal et alimenté par le courant continu à 125 v de la batterie, actionne par l'intermédiaire d'une bielle verticale le mécanisme du premier pôle qui transmet son mouvement aux deux autres pôles par une bielle horizontale. Un solénoïde spécial pour le déclenchement est commandé électriquement du tableau, soit à la main, soit par les relais de protection. Un système de signalisation indique par des lampes verte et rouge si l'interrupteur est déclenché ou enclenché.

Sur les circuits à 120 000 v, il n'y a aucun transformateur de mesure. Le prix de ces appareils étant très élevé pour cette tension, il a été jugé préfé-

nable de faire les mesures sur le circuit à 6 000 v.

L'alimentation des différentes protections installées se fait par des transformateurs dits « de traversée », qui sont placés dans les couvercles des interrupteurs (fig. 16) autour des sorties. Ces appareils, qui ne possèdent qu'une spire au primaire, suffisent pour l'alimentation des relais.

Les interrupteurs à déclenchement automatique placés sur les circuits à 6 000 et à 120 000 v des transformateurs de 10 000 kv-A, ne sont pas commandés par des relais à maxima, mais par des relais différentiels dont le fonctionnement provoque un déclenchement simultané sur la basse et sur la haute tension.

Le relais différentiel tripolaire est formé de trois relais unipolaires indépendants, du type à plongeur, dont le noyau est soumis à la fois à l'action du flux de deux solénoïdes alimentés l'un par les transformateurs d'intensité placés sur la basse tension et l'autre par le transformateur de traversée de la haute tension d'une même phase.

Les solénoïdes sont bobinés de telle sorte que, pour la marche normale des transformateurs, les flux s'annulent et que le noyau n'est attiré que pour un déséquilibre provoqué par un accident propre aux transformateurs. Ce dispositif permet de faire supporter aux transformateurs des surcharges importantes sans avoir de déclenchement intempestif, tout en assurant à l'appareil une protection efficace permettant de le mettre complètement hors circuit pour tout accident intérieur. La gravité des détériorations des transformateurs se trouve ainsi aussi limitée que possible.

Les deux interrupteurs automatiques de départ à 120 000 v, du type FKO 36, sont munis de transformateurs de traversée alimentant à la fois des ampèremètres et des relais à maxima réglables de façon à pouvoir provoquer le déclenchement pour différentes puissances.

Les appareils du poste à 120 000 v sont protégés contre les décharges atmosphériques et les surtensions par des parafoudres électrolytiques placés sur les départs de ligne.

Chaque parafoudre triphasé se compose de quatre cuves dont trois sont connectées à la ligne par l'intermédiaire de cornes, la quatrième étant branchée entre le point neutre des trois premières et la terre. Chaque cuve contient deux colonnes de cônes en aluminium sur lesquels a été formée une pellicule d'hydroxyde d'aluminium. Les intervalles entre cônes sont remplis d'électrolyte et l'ensemble est immergé dans l'huile. La pellicule a la propriété de s'opposer au passage du courant jusqu'à une certaine tension critique, au-dessus de laquelle le débit n'est plus limité que par la résistance très faible de l'électrolyte. L'appareil, qui s'oppose pendant la marche normale du réseau au passage du courant, décharge les surtensions en court-circuitant instantanément toutes portions d'onde ou d'oscillation qui seraient dangereuses pour l'isolement des appareils et des lignes. Il écoule également les décharges à haute fréquence en agissant comme con-

densateur, lequel se trouve formé par la pellicule d'hydroxyde, agissant comme diélectrique placée entre la plaque conductrice d'aluminium et l'électrolyte.

Séchage des transformateurs. — Le montage et la mise en cuve des transformateurs ont été particulièrement soignés. Le bobinage de chaque appareil, monté sur sa partie magnétique et muni de ses isolants, est placé dans une étuve en bois dans laquelle on fait circuler de l'air chaud à 80°. Cette température est obtenue par un groupe composé d'un moteur asynchrone et d'un ventilateur aspirant l'air par l'intermédiaire d'un filtre et le refoulant sur un four électrique consommant 25 kw pour porter, de 25 à 85° C, 23 m³ d'air à la minute. L'air ainsi chauffé passe, avant de se rendre au bas de l'étuve, dans une boîte métallique munie d'un dispositif en chicane destiné à arrêter les poussières et les corps étrangers qui pourraient être projetés directement sur le transformateur. Pendant cette opération, d'une durée d'environ trois jours, les 12 m³ d'huile nécessaires au remplissage du transformateur sont chauffés dans une cuve spéciale par une résistance triphasée absorbant 65 kw et capable de porter la température de la totalité de l'huile de 25 à 90°C en vingt heures environ. La température est ensuite maintenue à 90° jusqu'à ce que la rigidité dié-

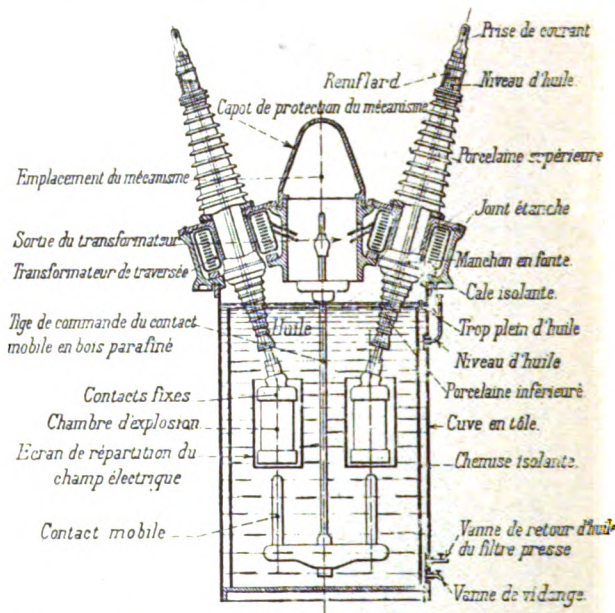


Fig. 16. — Coupe d'un élément d'un interrupteur triphasé.

lectrique de l'huile soit reconnue satisfaisante. La cuve du transformateur est alors remplie par l'intermédiaire d'un filtre-press aspirant l'huile dans la cuve de séchage. Pendant cette opération, la rigidité diélectrique de l'huile est à plusieurs reprises contrôlée.

L'appareil d'essais d'huile (fig. 17 et 18) se compose d'un transformateur dont le primaire est alimenté sous 100 ou 200 v, par l'intermédiaire d'une bobine à réac-

tance variable permettant d'obtenir, sur le secondaire, une tension de 0 à 30 000 v. Les échantillons d'huile prélevés pendant le montage et périodiquement pen-

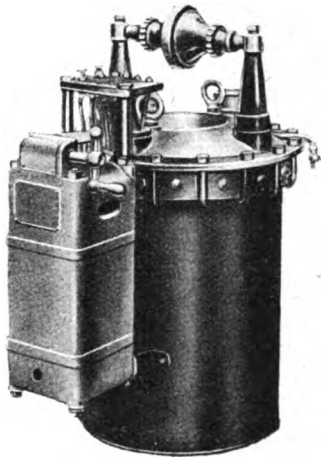


Fig. 17. — Appareil d'essai d'huile.

dant l'exploitation sont placés dans un récipient renfermant deux électrodes en contact avec les bornes haute tension du transformateur d'essai. Ces électrodes

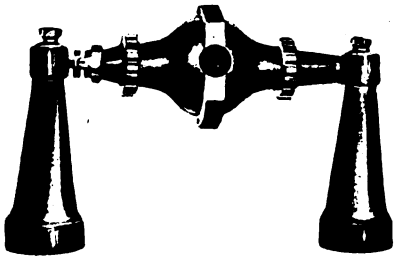


Fig. 18. — Détail de l'appareil d'essai d'huile.

formées par des disques de 25,4 mm de diamètre sont espacés de 2,54 mm. Pour que la qualité de l'huile soit

satisfaisante, il est nécessaire que la tension pour laquelle l'arc s'amorce ne soit pas inférieure à 22 000 v. Dans les différents essais qui ont été faits, on est arrivé à 33 000 v comme limite inférieure.

Le filtre-pressé (fig. 19) servant au séchage et à l'épuration complets de l'huile se compose d'un groupe moto-pompe refoulant l'huile, sous la pression de 5 à 6 kg : cm², à travers une série de feuilles de papier buvard retenant l'humidité et les impuretés. Ces feuilles sont maintenues rigidement par des cadres en fonte; elles doivent, pour avoir leur complète efficacité, être employés très secs. A cet effet, la Compagnie française Thomson-Houston livre, avec ses filtres-pressés, un four destiné à recevoir les feuilles de buvard, qui sont placées verticalement sur des tringles et chauff-

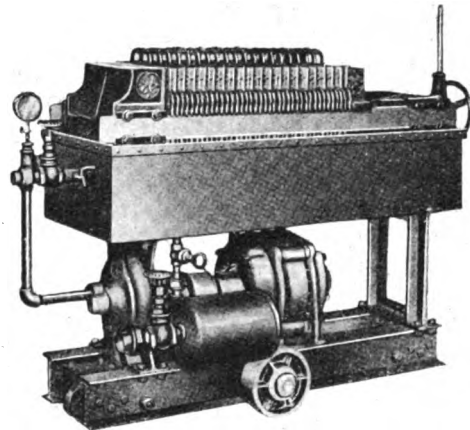


Fig. 19. — Appareil de séchage et de filtrage d'huile.

fées pendant vingt-quatre heures environ à 80° C. Ce four est en tôle garnie d'amiante et chauffé électriquement.

Jacques SUBT,
Ingénieur à la Compagnie française
Thomson-Houston.

Emploi des isolants dans les condensateurs électriques

L'auteur estimant que le condensateur constitue le dispositif le plus simple pour l'amélioration du facteur de puissance sur les petits réseaux, se propose de mettre en lumière quelques points particuliers que les constructeurs de cet appareil devront toujours avoir présent à l'esprit, à savoir : d'une part, les dangers qui peuvent résulter de l'emploi irraisonné de plusieurs couches de diélectriques dont les pouvoirs inducteurs spécifiques sont différents, parce que ceux de pouvoir inducteur le plus faible subissent, de ce fait, un gradient de potentiel accru par les autres; ainsi s'expliquent les étincelles destructives qui se produisent dans les lames d'air emprisonnées; d'autre part, les phénomènes non moins inquiétants qui se manifestent sur les bords.

I. — La décision prise, par les producteurs d'énergie électrique sous forme de courants alternatifs, de faire payer aux consommateurs une partie de l'énergie réactive, semble avoir ramené, une fois de plus, l'attention des électriciens sur la construction des condensateurs

industriels pour les tensions courantes aussi bien haute tension que basse tension.

Il apparaît, en effet, que la solution par condensateurs, pour remonter le facteur de puissance, est plus pratique que celle par moteurs synchrones, lorsqu'il

s'agit de petites installations et, surtout, lorsqu'il s'agit de solutions locales.

Le moment nous a paru opportun de rechercher les conditions qu'il y a lieu de réaliser dans les condensateurs industriels pour satisfaire aux desiderata de la technique actuelle.

Nous prendrons, d'ailleurs, la question dans toute son ampleur en envisageant les diélectriques d'une façon générale dans leur emploi pour la construction des condensateurs.

Aucun isolant n'étant parfait, les diélectriques sont également des conducteurs, à un degré infiniment moindre que les corps dits conducteurs, car leur résistivité est très élevée et, par suite, les courants qui les traversent sont pratiquement voisins de zéro.

Par contre, leurs propriétés diélectriques sont très accentuées, et l'on peut dire que tous les isolants, quel que soit leur emploi : isolateurs de ligne, manchons isolants, isolateurs d'entrée, etc., constituent des circuits diélectriques dont la capacité plus ou moins grande dépend des dimensions, de la forme et de la nature de la matière isolante.

Jusqu'à ces dernières années, en ce qui concerne les isolateurs de ligne et les isolateurs d'entrée de poste, par exemple, on n'avait guère eu à se préoccuper de leur capacité. Il n'en est plus de même, maintenant, avec les très hautes tensions préconisées pour les grands transports d'énergie, et l'on peut affirmer que seules, l'étude du champ électrique et la considération de la distribution du flux dans les diélectriques, ont permis d'aboutir à des formes rationnelles.

L'isolation, d'une manière générale, constitue un problème purement diélectrique. Il est essentiel qu'on fasse entrer en ligne de compte : d'une part, la résistance que les isolants opposent à la perforation, c'est-à-dire leur rigidité électrostatique, et, d'autre part, la force électrique agissante ou l'intensité du champ électrique qui tend à vaincre cette résistance en un point de la matière isolante.

Dans aucun appareil, cette résistance à la tension n'a autant d'importance, et la matière isolante n'est aussi fortement mise à l'épreuve, que dans le diélectrique d'un condensateur.

La nécessité, dans ce cas, d'atteindre une charge aussi élevée que possible avec un potentiel donné, c'est-à-dire de réaliser une grande capacité, tout en réduisant au minimum le poids de la matière isolante, exige une étude approfondie des propriétés des matériaux employés et des causes possibles de détérioration. En effet, la capacité C est donnée par la formule classique

$$C = \frac{Ks}{4\pi e} \quad (1)$$

On est donc conduit, pour accroître les capacités, avec un diélectrique donné, de pouvoir inducteur spécifique K , à réduire l'épaisseur e et à augmenter la surface totale de chaque armature s . En outre, pour

pouvoir conserver un coefficient de sécurité suffisant, on doit évaluer aussi exactement que possible les limites de charge admissibles, compatibles avec la nature du diélectrique.

Les points qui nécessitent une étude plus particulièrement serrée sont les suivants :

1° La valeur maximum que l'on peut admettre en toute sécurité pour l'intensité du champ électrique dans le diélectrique propre du condensateur;

2° L'intensité du champ à la surface même du diélectrique au voisinage immédiat des bords des armatures;

3° Les pertes et l'échauffement produits par les décharges : à l'intérieur du diélectrique, à sa surface sous les armatures et à sa surface aux bords des armatures;

4° Les pertes et l'échauffement par hystérésis diélectrique dans la matière isolante elle-même;

5° Les transformations physiques ou chimiques occasionnées par la fatigue du diélectrique et par les décharges disruptives, soit dans le diélectrique lui-même, soit à sa surface, soit dans la matière qui l'enrobe.

II. — Pour pouvoir mettre ces points nettement en évidence, nous allons rappeler quelques propriétés élémentaires des diélectriques.

Il va de soi, tout d'abord, que l'on doit choisir de préférence, comme diélectrique d'un condensateur, un isolant ayant une grande capacité inductive spécifique : par exemple, le verre, le mica, le papier résistant et imprégné, etc., dont les constantes diélectriques K sont respectivement : 6 à 8 pour le verre, 5,5 à 8 pour le mica ; 2 à 4 pour le papier imprégné.

Considérons, en premier lieu, un condensateur plan ordinaire. La charge Q prise par ce condensateur est évidemment :

$$Q = UC = \frac{Ks}{4\pi e} U, \quad (2)$$

U étant la différence de potentiel appliquée entre les armatures.

On peut l'écrire aussi :

$$Q = \frac{Ks}{4\pi} \left(\frac{U}{e} \right) = \frac{K}{4\pi} sH, \quad (3)$$

H étant l'intensité du champ électrostatique ou le gradient du potentiel. La charge Q dépend donc de cette intensité du champ électrostatique.

A un grand pouvoir inducteur spécifique correspond, en général, une grande rigidité électrostatique ou résistance à la tension, quoique ces deux quantités ne varient pas toujours dans le même sens d'un diélectrique à un autre.

D'une façon plus générale, la charge Q distribuée sur les armatures, positive et négative, séparées par une plaque en matière isolante, produit un champ électrostatique dont les lignes d'induction, dirigées normalement à la surface des armatures peuvent être repre-

sentées, dans le cas de deux surfaces parallèles non indéfinies, comme l'indique la figure 1. L'induction

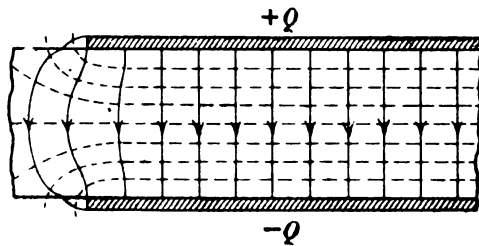


Fig. 1.

électrostatique B , représentée par un vecteur normal aux armatures, et le champ H sont reliés par l'égalité

$$B = KH, \quad (4)$$

et la quantité d'électricité Q est donnée par

$$\frac{1}{4\pi} Q = \int B ds, \quad (5)$$

étendue à toute la surface.

Si l'on suppose toujours les armatures parallèles, on a aussi au centre

$$H = \frac{B}{K} = \frac{U}{e}. \quad (6)$$

Si l'on se rapproche des bords, le champ n'est plus uniforme, les lignes de force du champ s'incurvent, de sorte que les surfaces équipotentiellles cessent d'être parallèles aux armatures et tendent à se rapprocher des bords en augmentant ainsi l'induction et, par suite, l'intensité du champ dans le voisinage des armatures.

Des expériences faites autrefois par Moscicki⁽¹⁾ montrent que l'épaisseur de la lame, sur les bords, doit

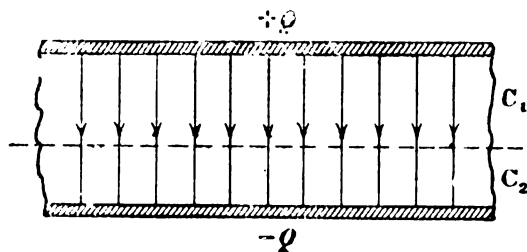


Fig. 2.

croître comme le carré du potentiel explosif au centre si l'on veut éviter le percement près de ces bords.

Examinons maintenant le cas d'un condensateur dont le diélectrique est constitué, comme l'indique la figure 2, par deux plaques isolantes C_1 et C_2 , dont les

constantes diélectriques sont respectivement K_1 et K_2 . Les équations (4) (5) et (6) sont encore applicables et, de plus, le flux traversant les deux parties du diélectrique étant le même, nous aurons

$$\int B_1 ds = \int B_2 ds, \quad (7)$$

B_1 et B_2 étant les deux inductions dans les deux parties.

En considérant une partie du champ électrique suffisamment éloignée des bords, pour échapper à leur influence, nous aurons

$$B_1 = B_2, \quad (8)$$

et, par suite, d'après (4),

$$K_1 H_1 = K_2 H_2, \quad (9)$$

d'où :

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{K_2}{K_1}. \quad (10)$$

Autrement dit, le rapport des intensités des champs électrostatiques, ou des gradients du potentiel, dans les deux parties du condensateur, sont dans le rapport inverse des capacités inductives électrostatiques correspondantes.

Le gradient du potentiel, dans la couche diélectrique C_1 , est donc inversement proportionnel au pouvoir inducteur spécifique de cette couche et sa valeur est d'autant plus grande que le pouvoir inducteur de l'autre couche C_2 est elle-même plus élevée.

Il est évident, qu'en général, on doit chercher, autant que possible, à éviter la superposition de deux ou de plusieurs couches diélectriques de nature différente entre les armatures ; mais, comme nous allons le voir dans ce qui va suivre, cette superposition se produit malgré tout dans la plupart des cas, de sorte que la remarque précédente est, au fond, des plus importantes.

En effet, certains diélectriques comme le mica et le papier, par exemple, se composent de plusieurs couches permettant la formation de poches ou de lames très minces remplies d'air ou de matière d'imprégnation.

En second lieu, les armatures, constituées par de minces couches métalliques, généralement de feuilles d'étain, ne sont, presque toujours, qu'imparfaitement appliquées à la surface du diélectrique. Il subsiste donc de véritables couches d'air, ou de colle, ou d'autre matière, selon que les armatures sont appliquées par simple pression mécanique ou bien collées sur le diélectrique avec une colle, ou un produit isolant quelconque, dont la capacité inductive électrostatique diffère généralement de celle du principal diélectrique du condensateur.

Enfin, le même phénomène se produit invariablement, aux bords des armatures, si le condensateur se

(1) *L'Éclairage électrique*, 1904, t. XII, p. 14, 65, et 99.

trouve noyé dans une masse isolante dont le pouvoir inducteur spécifique K est plus petit que celui du diélectrique du condensateur.

L'équation (9) est applicable également, en effet, aux lignes qui partent d'un bord de l'armature et traversent, sur une très petite distance, cet autre milieu (fig. 3). L'intensité du champ électrostatique sera donc

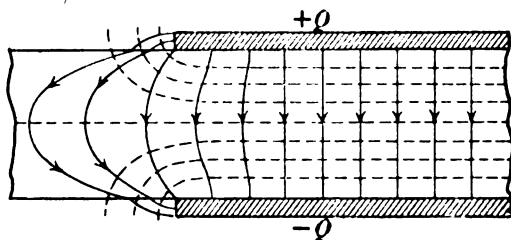


Fig. 3.

plus forte : 1° dans les couches intermédiaires du diélectrique, sous les armatures ; 2° aux bords des armatures. Elle augmentera, toutes choses égales d'ailleurs, dans le rapport des coefficients K_i et K_e , K_i étant la constante du diélectrique, et K_e celle du milieu en dehors de ce diélectrique.

En général, la rigidité électrostatique de ce milieu est plus faible que celle du principal diélectrique, de sorte que des décharges partielles inévitables apparaissent et, ceci, malgré l'augmentation du champ explosif, lorsque l'épaisseur du milieu interposé diminue.

Si, par exemple, les feuilles d'étain d'un condensateur ne sont appliquées que par pression, il est absolument impossible de chasser complètement les couches d'air interposées entre les armatures et le diélectrique. En l'absence de toute irrégularité, l'épaisseur de cette couche d'air pourra être réduite par un accroissement de la pression, mais on ne pourra jamais la faire disparaître complètement. Des essais méthodiques ont montré que les pertes diminuent au fur et à mesure que la pression augmente, mais, néanmoins, la couche d'air existe toujours sous des épaisseurs variables, suivant la nature des surfaces, et les pertes ne peuvent être complètement annulées.

Toutefois, l'augmentation de l'intensité du champ explosif avec la réduction de l'épaisseur vient encore tempérer sensiblement, comme nous le verrons, ces pertes inévitables.

III. — Ces propriétés rappelées pour nous rendre compte de ce qui se passe, considérons, par exemple, un condensateur formé d'une plaque de mica d'épaisseur e et ayant une capacité inductive électrostatique $K_i = 7$. Nous pouvons, évidemment, admettre que l'épaisseur des deux couches d'air, entre les armatures et le diélectrique, est assez petite pour que la chute de potentiel électrique, suivant cette épaisseur, soit négligeable devant celle qui se produit à l'intérieur du diélectrique.

L'intensité du champ dans celui-ci sera $H_i = \frac{U}{e}$, de sorte que celle dans la couche d'air aura pour valeur, d'après la relation (9), en prenant pour pouvoir inducteur spécifique de l'air $K_e = 1$,

$$H_e = K_i H_i = K_i \frac{U}{e}. \quad (11)$$

Si nous prenons une plaque de mica de 0,05 cm, le champ explosif maximum, pour une tension appliquée alternative, d'après Th. Gray, est de 750 kv : cm⁽¹⁾.

En admettant que l'on fasse travailler le diélectrique aux deux cinquièmes du champ explosif, l'intensité du champ maximum dans la lame d'air atteindra

$$H_e = 7 \times \frac{2}{5} \times 750 = 2\,100 \text{ kv : cm.}$$

Le champ explosif de l'air pour les petites épaisseurs, comme d'ailleurs dans tous les diélectriques, augmente très rapidement lorsque l'épaisseur diminue. Entre électrodes planes parallèles, le gradient du potentiel explosif passe de 31,7 kv : cm pour une distance de 1 cm à 44 kv : cm pour 0,1 cm et à 102 kv : cm pour 0,01 cm (expériences de Baille et Paschen). Pour une distance de 0,001 cm, ce gradient peut être estimé, à défaut d'autre indication plus précise, à 350 kv : cm⁽²⁾.

Or, il paraît difficile de réduire davantage une épaisseur de l'ordre du centième de millimètre. Le champ dans les couches d'air atteindrait donc six fois le champ explosif, de sorte qu'il y aura production continue d'étincelles sous les armatures du condensateur. Le volume intéressé en est évidemment très faible, mais il n'en existe pas moins une couche incandescente, composée de petits arcs de longueur microscopique. Dans le cas du mica, par exemple, qui est une matière dure, capable de supporter de hautes températures, le travail destructif des étincelles sera long. Le résultat ne se produira qu'au bout d'une ou même de plusieurs années ; le mica transparent deviendra opaque et sa résistance à la perforation diminuera dans la mesure où la transparence aura disparu. Il ne pourra plus résister à la différence de potentiel appliquée et sera perforé.

Le phénomène est le même que l'espace rempli d'air se trouve sous l'armature ou à l'intérieur de l'isolant. Dans le cas du papier pourtant, si son imprégnant possède approximativement la même conductibilité

(1) Nous avons envisagé la valeur maximum, au lieu de la valeur efficace, de façon à pouvoir nous référer, en première approximation, aux valeurs des champs explosifs dans l'air pour une tension continue, les seules qui aient été relevées, à notre connaissance, pour les très petites distances.

(2) Pour de plus petites distances, le potentiel explosif passe par un minimum, puis finit par devenir proportionnel à la distance au-dessous de 3-4 cm. La valeur constante du champ est alors de l'ordre de 1000 kv : cm (expériences d'Earhart). Il semble bien, d'ailleurs, que le caractère de la décharge se modifie dans ce cas.

diélectrique que le papier lui-même (par exemple s'il s'agit d'imprégnation à la paraffine), l'intensité du champ sera uniforme dans le papier et dans la matière d'imprégnation.

Toutefois, le papier vu au microscope n'est pas un corps homogène, mais un corps composé de particules ne présentant pas de qualités diélectriques uniformes et le phénomène considéré plus haut se répétera aux surfaces de séparation de ces petites particules. D'ailleurs, le papier forme une sorte d'éponge qui absorbe non seulement de l'air, mais aussi de l'eau, et dont il n'est pas aisé d'extraire complètement l'un et l'autre.

En ce qui concerne les autres diélectriques présentant une homogénéité plus ou moins grande, les mêmes considérations doivent entrer également en ligne de compte.

Les pertes d'énergie et la destruction du diélectrique sous les armatures ne pourront être évitées que par une adhérence absolue, ou tout au moins capable de conduire à un gradient du potentiel explosif dans l'air supérieur à H_c .

Une telle adhérence ne paraît pouvoir être obtenue que par dépôt chimique ou électrique, par incrustation au four ou par d'autres procédés analogues. L'application du métal par le procédé Schoop ne paraît pas donner des résultats suffisamment sûrs ; son dépôt, vu au microscope, est un amas de grains irréguliers et la couche, ainsi préparée, ne paraît pas être exempte d'air.

IV. — Les phénomènes qui se produisent aux bords des armatures, quoique plus complexes encore, peuvent se calculer par les mêmes formules que ceux sous les armatures. La seule différence est que, pour les bords, il ne s'agit plus, cette fois, de longueurs d'arcs microscopiques, mais bien de longueurs beaucoup plus grandes correspondant à l'épaisseur des armatures. Pour cette raison, les gradients du potentiel explosif sont beaucoup plus faibles, les effluves des bords sont plus nourris et constituent un réel et imminent danger pour les diélectriques des condensateurs.

Différentes méthodes ont été employées ou proposées pour les éviter. Dans les condensateurs en forme de bouteilles, les bords des armatures sont réduits au minimum. Si, d'autre part, on renforce l'épaisseur du diélectrique sous ses bords, on obtient une notable amélioration, comme il est facile de le comprendre par un coup d'œil jeté sur le schéma de la figure 4 ; mais, dans la plupart des cas, cette solution ne peut être adoptée pour les raisons suivantes.

Admettons, par exemple, que le verre employé ait encore un coefficient diélectrique $K_i = 7$, et que le bord de l'armature soit enrobé dans de la cire dont la constante diélectrique est $K_c = 2$.

Soumettons le condensateur à un champ électrostatique normal à la surface de valeur $H_i = 100 \text{ kv : cm}$ et supposons que nous voulions réaliser une intensité du champ dans la cire également de $H_c = 100 \text{ kv : cm}$.

Il en résultera dans celle-ci une induction, d'après (4),

$$B_c = K_c H_c = 2 \times 100 = 200 \text{ kv : cm.}$$

Sur les bords, l'induction sera la même, par hypothèse, de sorte que le champ aura pour valeur à cet endroit dans le diélectrique

$$H_{i,b} = \frac{B_{i,b}}{K_i} = \frac{200}{7} \approx 28,5 \text{ kv : cm.}$$

Ceci veut dire qu'il faudrait, dans ce cas, réduire l'intensité du champ dans le diélectrique, au bord, dans

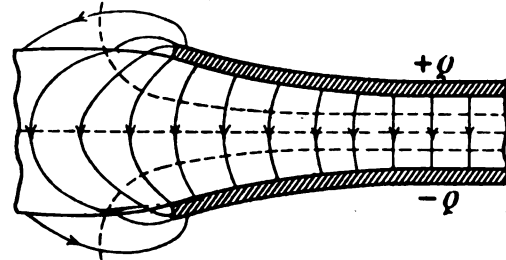


Fig. 4.

le verre, à $\frac{28,5}{100}$ ou 28,5 pour 100 de ce qu'elle est dans les parties éloignées. Pour atteindre ce résultat, en supposant, pour plus de simplicité, le gradient du potentiel indépendant de l'épaisseur, on doit donner à l'épaisseur du diélectrique au bord 3,5 fois celle des parties éloignées de celui-ci.

Si le bord n'est pas enrobé dans de la cire, mais est simplement laissé dans l'air, la paroi au bord devrait être sept fois plus forte puisque H_c étant deux fois plus petit, H le sera également.

Dans beaucoup de cas, notamment dans les condensateurs à mica, il est impossible d'augmenter l'épaisseur du bord. On a cherché alors à noyer les bords dans une masse isolante ; mais, à moins de trouver un isolant liquide qui, en passant à l'état solide, présente le même coefficient de conductibilité diélectrique et la même rigidité que le diélectrique solide du condensateur, ce procédé ne peut pas donner de bons résultats. En effet, tant que le pouvoir inducteur spécifique de la masse isolante sera inférieur à celui du diélectrique principal, le champ dans la première sera toujours plus grand que dans le diélectrique, puisque le produit des deux est constant, et le danger de rupture du milieu isolant entourant le diélectrique du condensateur subsistera.

On a également essayé de placer le condensateur dans une cuve contenant de l'huile de transformateur. L'isolement liquide a l'avantage de se régénérer après une perforation et d'assurer une réfrigération intense. Par contre, sa résistance à la perforation est inférieure à celle des matières coulées et solidifiées, et sa constante diélectrique ne dépasse pas 2 ; elle n'empêchera donc pas l'attaque du diélectrique par les décharges passant à travers l'huile. C'est donc un simple palliatif qui ne

pourra que retarder la mise hors service de l'appareil. Nous pouvons signaler, en passant, que le mica plongé dans l'huile ne paraît pas donner de très bons résultats.

V. — L'hystérésis diélectrique est généralement très faible quand il s'agit de matières homogènes et transparentes. Si le condensateur n'est pas exempt d'effluves, on ne peut séparer les pertes occasionnées par ces dernières des pertes par hystérésis. Les premières sont généralement beaucoup plus grandes que les dernières. Le facteur de puissance d'un bon condensateur

ne doit pas dépasser, en général, un à deux centièmes.

Si les pertes par effluves n'ont pas trop d'importance, au point de vue du rendement d'un condensateur, il n'en est pas moins vrai que ces pertes jouent un rôle de première importance au point de vue de la durée probable de l'appareil. Un condensateur construit avec un diélectrique convenable, mais accusant une augmentation considérable de température, a certainement des effluves et, de ce fait, sa durée est forcément limitée et sa mise hors service sera rapide.

C.-F. GUILBERT.

Étalonnage des compteurs en régime variable

Cette note indique un mode opératoire simple permettant d'obtenir une plus grande précision dans l'étalonnage des compteurs fonctionnant en régime très variable, en particulier des compteurs branchés sur un réseau de traction.

L'étalonnage des compteurs fonctionnant en régime instantané très variable, particulièrement des compteurs mesurant l'énergie consommée par un réseau de traction, peut se faire soit en traçant une courbe d'étalonnage obtenue en faisant débiter le circuit à différentes charges constantes (sur un rhéostat liquide par exemple) et en utilisant des appareils de contrôle à lecture directe (wattmètre ou ampèremètre et voltmètre), soit en comparant, en service normal, les indications du compteur à vérifier avec celles du compteur-étalon.

La première méthode a l'avantage de permettre l'emploi d'appareils de contrôle très précis, mais présente les inconvénients suivants.

La courbe qui donne la valeur du coefficient de correction pour les différentes charges étudiées étant tracée, il faut déterminer le coefficient de correction correspondant à la charge moyenne journalière du compteur. Cette détermination est d'autant moins précise que la charge est plus variable et que l'exactitude du compteur dépend davantage des variations de charge (et de déphasage dans le cas de courants alternatifs). On risque ainsi de perdre l'avantage de l'emploi d'appareils de contrôle de grande précision. D'autre part, les opérations d'étalonnage doivent être faites en dehors des heures de service normal, ce qui ne laisse parfois que peu de temps disponible pendant la nuit, tout en donnant lieu à une consommation supplémentaire d'énergie, et il est quelquefois difficile, lorsqu'il s'agit de puissances importantes, d'installer un bac d'absorption suffisant.

La deuxième méthode, au contraire, présente l'inconvénient d'exiger l'emploi d'un appareil de contrôle (compteur-étalon) moins précis auquel il faut également appliquer un coefficient de correction moyen, mais l'exactitude du compteur-étalon doit dépendre, dans de faibles limites, de la charge (et du déphasage)

et, d'autre part, le calibre du shunt ou des transformateurs de ce compteur peut être choisi de telle façon qu'il fonctionne dans de très bonnes conditions, alors que les compteurs de tableau fonctionnent, en général, à très faible charge moyenne. En outre, il suffit d'opérer pendant les heures de plein service, en négligeant les heures de très faible charge moyenne, les erreurs du compteur à ces charges ne portant que sur des quantités d'énergie peu importantes.

Lorsqu'il s'agit de compteurs moteurs à courant continu branchés sur un réseau de traction, on emploie souvent, comme compteur-étalon, un compteur ampère-heuremètre auquel on adjoint un voltmètre à lecture directe.

Cette méthode n'est théoriquement exacte que si la tension d'alimentation est constante ; dans ce cas, on mesure en effet la quantité

$$U \times \int_0^n i dt,$$

qui est bien égale à l'énergie

$$\int_0^n u i dt,$$

mesurée par le compteur à vérifier.

L'égalité n'est plus respectée lorsque la tension varie en cours d'étalonnage. On se borne, généralement, à faire la moyenne des lectures relevées au voltmètre à intervalles réguliers de n secondes (toutes les 10 secondes par exemple), de sorte que l'on mesure (t étant la durée de l'étalonnage en secondes) la quantité

$$\frac{\sum u}{n} \times \int_0^n i dt,$$

qui diffère d'autant plus de l'énergie $\int_0^t u i dt$ que l'amplitude des variations de tension est plus grande. On applique, en effet, à toute quantité d'électricité débitée pendant n secondes, quelle que soit sa valeur, une lecture u de la tension instantanée pendant cet intervalle de temps ⁽¹⁾.

Prenons, par exemple, le cas extrême où les courbes

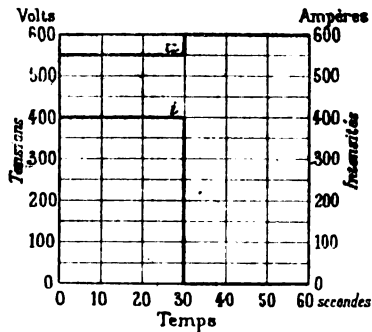


Fig. 1.

d'intensité et de tension présentent la forme indiquée figure 1.

Nous aurons

$$(a) \quad \int_0^n u i dt = \frac{550 \times 400 \times 30}{3600} + 0 = 1833 \text{ w-h},$$

$$\int_0^n i dt = \frac{400 \times 30}{3600} + 0 = 3,33 \text{ A-h},$$

$$\frac{\sum u}{\frac{t}{n}} = \frac{550 \times 3 + 600 \times 3}{6} = 575 \text{ v.}$$

$$(b) \quad \frac{\sum u}{\frac{t}{n}} \times \int_0^n i dt = 575 \times 3,33 = 1915 \text{ w-h}.$$

La quantité d'énergie (a) intégrée par le compteur à vérifier et la quantité d'énergie (b) mesurée à l'aide des appareils de contrôle diffèrent de 4,5 pour 100. Nous appliquons, en effet, à la quantité d'électricité 3,33 A-h une tension moyenne de 575 v, au lieu de la tension réelle de 550 v ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Nous ne tenons pas compte de l'erreur de principe provenant de ce que les relevés de la tension sont faits à un instant quelconque des intervalles de n secondes, cette erreur ne pouvant être éliminée; dans le cas qui nous occupe, les variations de tension sont en général trop peu rapides pour qu'il puisse en résulter une erreur notable.

⁽²⁾ L'emploi simultané d'un compteur ampère-heuremètre et d'un compteur volt-heuremètre donnerait lieu à une erreur de principe analogue. On mesurerait, en effet, dans ces conditions la quantité

$$\frac{1}{t} \int_0^n u dt \times \int_0^n i dt,$$

qui diffère en général de la quantité

$$\int_0^n u i dt.$$

Cette méthode peut être perfectionnée en réglant l'intervalle des lectures au voltmètre sur l'intensité absorbée par le réseau, c'est-à-dire sur le nombre de tours de disque du compteur étalon (ou, avec une approximation suffisante, du compteur à vérifier). On fera, par exemple, une lecture tous les 2, 3 tours de disque suivant la constante du compteur, de façon à avoir pour la charge moyenne des lectures assez fréquentes, et pas trop précipitées pour la charge maximum.

Dans le cas élémentaire cité plus haut, la tension moyenne ainsi trouvée sera bien de 550 v, aucune lecture n'étant faite pendant la période de débit nul.

Si l'on applique cette méthode à des diagrammes d'intensité et de tension relevés dans des sous-stations de traction, on voit que l'erreur de principe qui peut être, lorsque les relevés de la tension sont faits à intervalles réguliers, de l'ordre de 1 pour 100, pour des variations de tension de 5 à 10 pour 100 ⁽¹⁾, est réduite à une valeur absolument négligeable en proportionnant la fréquence des lectures du voltmètre au débit.

Envisageons, par exemple, les diagrammes d'intensité et de tension indiqués figure 2 pour lesquels

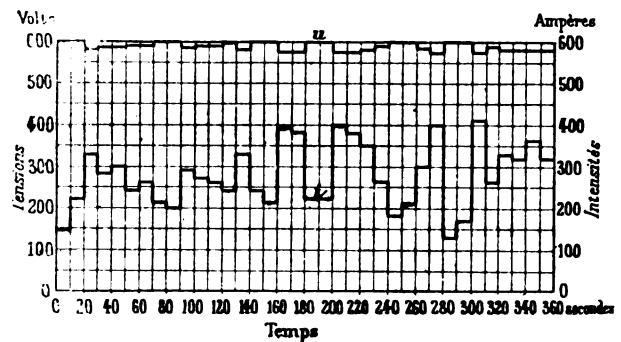


Fig. 2.

$i_{\max} = 1,5 i_{\text{moy}}$ et présentant des variations de tension de 5 pour 100. Pour simplifier, les valeurs de l'intensité et de la tension ont été supposées constantes pendant les intervalles de dix secondes.

Nous calculons à l'aide des diagrammes l'énergie de trois manières différentes :

1° En faisant la moyenne des produits des valeurs de l'intensité et de la tension relevées simultanément toutes les dix secondes, ce qui donne l'énergie réelle en admettant la constance de ces valeurs pendant les intervalles de dix secondes ;

2° En faisant séparément la moyenne des valeurs de l'intensité et de la tension relevées sur les diagrammes à des intervalles réguliers de dix secondes et en faisant le produit de ces deux moyennes ;

3° En faisant la moyenne des valeurs de l'intensité dans les mêmes conditions que ci-dessus, mais en espa-

⁽¹⁾ L'erreur est positive lorsque la tension varie en raison inverse de la charge, ce qui est le cas général; l'étalement indique alors un retard inexistant du compteur.

çant les lectures de la tension (c'est-à-dire les ordonnées sur le diagramme) proportionnellement à la charge ⁽¹⁾.

1. Énergie réelle, 16 265 w-h;
2. Énergie mesurée par lectures régulièrement espacées au voltmètre, 16 345 w-h;
3. Énergie mesurée par lectures espacées suivant la charge, 16 261 w-h.

L'erreur, qui est de + 0,5 pour 100 dans le premier cas, est tout à fait négligeable dans le deuxième cas.

Si nous considérons une courbe d'intensité plus irrégulière, telle que celle de la figure 3, pour laquelle $i_{\max} = 3,8 i_{\text{moy}}$, nous obtenons par le même procédé :

1. Énergie réelle, 2 649 w-h;
2. Énergie mesurée par lectures régulièrement espacées au voltmètre, 2 729 w-h;
3. Énergie mesurée par lectures espacées suivant la charge, 2 655 w-h.

L'erreur qui, dans le cas des lectures régulièrement espacées au voltmètre, atteint la valeur importante de 3 pour 100, tombe à 0,2 pour 100 en espaçant ces lectures suivant la charge.

La méthode que nous indiquons permet donc d'éliminer à peu près complètement une cause d'erreur qui est du même ordre de grandeur que celle due aux appareils de contrôle et peut s'ajouter à celle-ci. L'avantage

est d'autant plus marqué que la charge est plus irrégulière ⁽¹⁾.

Le mode d'opération est simple : il suffit que l'opérateur qui, de toute façon, est chargé de compter pen-

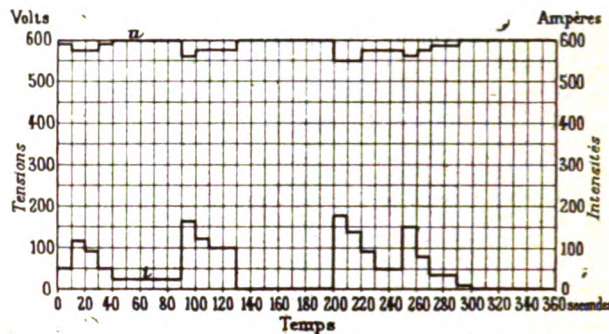


Fig. 3.

dant la durée de l'étalonnage le nombre de tours du disque du compteur à vérifier, donne le signal des lectures à l'opérateur chargé de relever les indications du voltmètre.

G. PALANCHON,
Ingénieur à l'Omnium lyonnais.

Revue, analyses et informations

La détermination des pertes des machines électriques par la méthode d'amortissement ⁽²⁾.

La première application de cette méthode est due à Routin, et a été faite en 1896; le procédé de mesure consiste à amener l'induit à sa vitesse de régime; puis, la source de courant étant coupée, l'induit ralentit lentement, l'énergie cinétique fournissant à chaque instant le couple nécessaire à la rotation; si on désigne par I le moment d'inertie de l'induit, par ω la vitesse angulaire et par W la puissance consommée par les pertes, on a à chaque instant

$$W = - \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} I \omega^2 \right) = - I \omega \left(\frac{d\omega}{dt} \right),$$

il est donc nécessaire de mesurer la valeur de $\left(\frac{d\omega}{dt} \right)$; cette mesure peut être obtenue en traçant la courbe de vitesse de l'induit, la tangente à la courbe au point correspondant à la vitesse désirée donne la valeur de $\left(\frac{d\omega}{dt} \right)$ et, par suite, la valeur des pertes à cette vitesse. L'auteur donne quelques méthodes pour le tracé de cette courbe d'amortissement, mais recommande particulièrement le procédé utilisant un voltmètre et la méthode stroboscopique indiquée par

⁽¹⁾ Les lectures de la tension, au lieu d'être faites aux temps 0-10-20-30 secondes, seront relevées aux temps 0-16-26-37-47 secondes.

⁽²⁾ H. COTTON. B.E.A.M.A., t. X, février 1922, p. 128-137, 8 000 mots, 10 fig.

Drysdale en 1906. Il est en outre nécessaire de connaître le moment d'inertie de l'induit, et il existe plusieurs manières de l'obtenir. Si l'induit n'est pas très lourd, il peut être suspendu bi-filairement (fig. 1); les deux fils de suspension ayant une longueur l et leur distance étant $2a$, la durée d'une oscillation complète est

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{k^2 l}{g a}},$$

k étant le rayon de giration de l'induit; si M est la masse de l'induit, m celle de la pièce support de l'induit et T_2 , la durée d'oscillation de cette pièce seule, le moment d'inertie de l'induit est

$$I = \frac{a^2 g}{4\pi^2 l} [M T_1^2 - m T_2^2],$$

il est bon de noter que l doit être grand par rapport à a . La méthode indiquée offre l'inconvénient que l'induit peut glisser dans le support si ce dernier n'est pas convenablement serré; aussi l'auteur propose un autre moyen qu'il expose comme suit; l'induit est

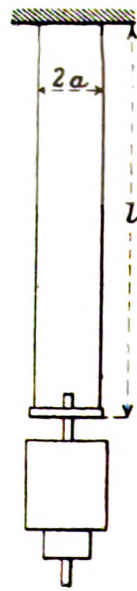


Fig. 1

⁽¹⁾ Il est difficile d'évaluer cet avantage autrement que sur des diagrammes; il est, en effet, de l'ordre de grandeur des erreurs dues aux appareils de mesure employés, ce qui ne permet pas une comparaison directe des deux méthodes.

placé horizontalement; son arbre repose sur deux surfaces courbes de rayon connu (fig. 2), on mesure la durée d'une petite oscillation et on en déduit le moment d'inertie à l'aide des formules suivantes. L'induit étant écarté de sa position d'équilibre d'un angle θ , la réaction tangentielle en B est F

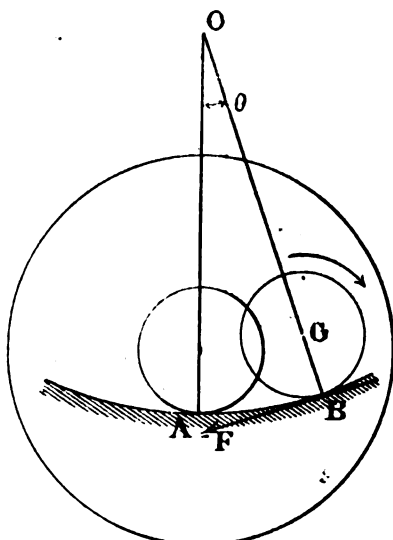


Fig. 2.

et si nous considérons le mouvement du centre de gravité G nous aurons

$$M(R-r) \frac{d^2\theta}{dt^2} = -Mg \sin \theta - F, \quad (1)$$

r étant le rayon de l'arbre. Maintenant, si ω est la vitesse angulaire du cylindre, il vient

$$\omega r = (R-r) \frac{d\theta}{dt}, \quad (2)$$

et prenant les moments à partir de G, il vient

$$Mk^2 \frac{d\omega}{dt} = Fr, \quad (3)$$

et de (2) on tire

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{R-r}{r} \frac{d^2\theta}{dt^2};$$

d'où

$$F = M \frac{k^2}{r^2} (R-r) \frac{d^2\theta}{dt^2}. \quad (4)$$

Additionnant (1) et (4), on obtient

$$\left(1 + \frac{k^2}{r^2}\right) (R-r) \frac{d^2\theta}{dt^2} = -g \sin \theta,$$

or l'équation du mouvement d'un pendule simple de longueur l est

$$l \frac{d^2\theta}{dt^2} = -g \sin \theta;$$

il en résulte que l'on peut poser

$$l = \left(1 + \frac{k^2}{r^2}\right) (R-r),$$

d'où

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{\left(1 + \frac{k^2}{r^2}\right) (R-r)}{g}}$$

et finalement

$$I = Mk^2 = Mr^2 \left[\frac{T^2 g}{4\pi^2 (R-r)} - 1 \right].$$

Cette méthode est applicable à chaque instant de la construction de l'induit. Il arrive souvent que l'induit est dans la machine et que le démontage de cette dernière n'est pas désirable; dans ce cas encore, il est possible d'obtenir le moment d'inertie de l'induit par le procédé suivant. Un fort ressort hélicoïdal est fixé à l'extrémité de l'arbre par une de ses extrémités, l'autre est liée à un obstacle fixe (fig. 3); l'induit est alors écarté de sa position d'équilibre à

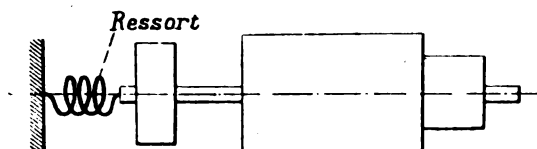


Fig. 3.

laquelle il revient après un certain nombre d'oscillations; on note la durée d'une oscillation. Une corde fine est ensuite enroulée sur la poulie et on mesure la force nécessaire pour déplacer l'induit d'un radian; si P est cette force, R le rayon de la poulie, r le rayon de la corde, le couple correspondant à un déplacement de un radian est alors $C = P(R+r)$ et le moment d'inertie de la partie tournante est égal à

$$I = \frac{T^2 C}{4\pi^2};$$

il est nécessaire de ne faire ces mesures que lorsque la machine a tourné un temps suffisant pour que les paliers soient chauds et parfaitement huilés. Cependant, malgré cette précaution, le frottement dans les paliers introduit une cause d'erreur dont l'auteur tient compte en supposant que le couple résistant dû au frottement est proportionnel à la vitesse angulaire. Dans ce cas, l'équation du mouvement est

$$I \left(\frac{d^2\theta}{dt^2} \right) = -P\theta - Q \frac{d\theta}{dt};$$

$P\theta$ est le couple produit par le ressort; $Q \frac{d\theta}{dt}$ est le terme introduit par les frottements; en divisant par I , on a

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + q \frac{d\theta}{dt} + p\theta = 0;$$

si l'on pose $\theta = e^{\lambda t} \Phi$

$$\text{il vient } \frac{d^2\theta}{dt^2} = \left(\frac{d^2\Phi}{dt^2} + 2\lambda \frac{d\Phi}{dt} + \lambda^2 \Phi \right) e^{\lambda t}$$

et

$$q \frac{d\theta}{dt} = q \left(\frac{d\Phi}{dt} + \lambda \Phi \right) e^{\lambda t}, \quad p\theta = p\Phi e^{\lambda t},$$

d'où

$$\frac{d^2\Phi}{dt^2} + (2\lambda + q) \frac{d\Phi}{dt} + (\lambda^2 + q\lambda + p) \Phi = 0.$$

Si l'on pose

$$\lambda = \frac{1}{2} q,$$

il vient

$$\theta = e^{-\frac{1}{2} q t} \Phi,$$

et

$$\frac{d^2\Phi}{dt^2} + \left(p - \frac{1}{4} q^2 \right) \Phi = 0.$$

Cette équation admet trois solutions : 1° faisons $p > \frac{1}{4} q^2$

et $-\frac{1}{4} q^2 + p = n^2$, d'où

$$\frac{d^2\Phi}{dt^2} + n^2 \Phi = 0,$$

$\Phi = A \cos nt + B \sin nt$, et

$$\theta = (A \cos nt + B \sin nt) e^{-\frac{1}{2} q t} = C e^{-\frac{1}{2} q t} (\cos nt + \Psi).$$

A , B , C et Ψ sont des constantes; le mouvement est une oscillation amortie dont la période est

$$\frac{2\pi}{n} = \frac{2\pi}{\sqrt{p - \frac{1}{4} q^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{p} \left[1 - \frac{q^2}{4p} \right]^{\frac{1}{2}}},$$

si le frottement est nul, la période devient

$$\frac{2\pi}{n} = \frac{2\pi}{\sqrt{p}}.$$

L'effet du frottement est donc d'augmenter la durée de la période. Si q est petit par rapport à p , le terme $\frac{q^2}{4p}$ est une quantité du second ordre et peut être négligé; dans le cas de paliers chauds et bien huilés, cette condition est remplie surtout si le ressort est puissant et donne pour p une grande valeur; il peut encore être utile de monter un volant sur l'arbre du moteur pour augmenter la durée de la période, mais il est alors nécessaire de connaître le moment d'inertie de ce volant, à moins de faire l'essai d'amortissement avec le volant monté sur l'arbre.

Les deux autres solutions de l'équation, pour lesquelles il faudrait supposer $p \leq \frac{1}{4} q^2$, ne s'appliquent pas au problème considéré. Il existe encore d'autres méthodes électriques parmi lesquelles l'auteur choisit celle proposée par Ashworth. La courbe d'amortissement est tracée pour l'induit tournant dans un flux constant; on trace cette même courbe pour le même flux après avoir calé sur l'arbre un volant de moment d'inertie connu. Pour une valeur particulière de ω_1 , les tangentes aux courbes d'amortissement sont $\operatorname{tg} \alpha_1$ et $\operatorname{tg} \alpha_2$ (fig. 4); si on suppose que l'addition du volant n'a pas augmenté les pertes W et si I_a et I sont

respectivement les moments d'inertie de l'induit et du volant, il vient

$$I_a \omega_1 \operatorname{tg} \alpha_1 = W, \quad (I_a + I) \omega_1 \operatorname{tg} \alpha_2 = W,$$

d'où

$$I_a = I \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2}.$$

Il n'est pas toujours possible de caler un volant sur l'arbre; dans ce cas, on peut augmenter l'amortissement de

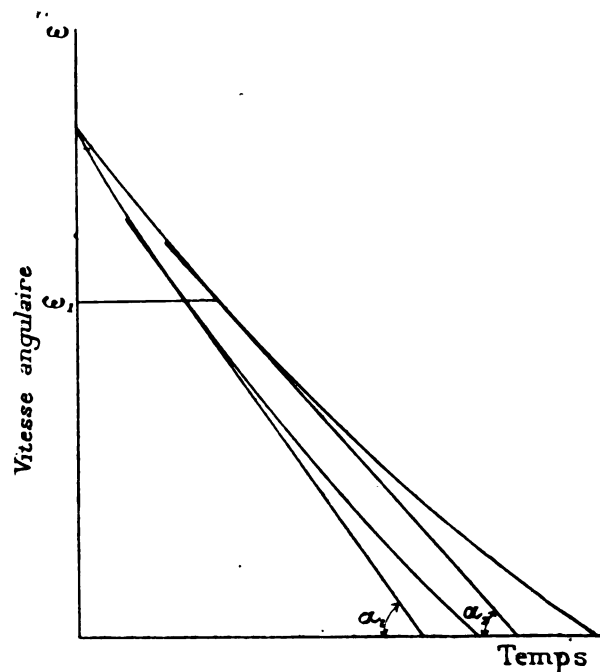


Fig. 4.

la vitesse de l'induit en chargeant ce dernier sur une résistance connue et en mesurant les temps nécessaires pour amener une même variation de la vitesse angulaire. Soient $d\omega$ une petite variation de cette vitesse, dt_1 le temps nécessaire pour produire cette variation lorsque la charge extérieure est nulle, les pertes sont alors

$$W = I_a \omega \frac{d\omega}{dt_1};$$

la perte devenant $W + W_1$ par suite de l'insertion d'une résistance de charge sur le circuit de l'induit, le temps nécessaire pour amener la même variation est dt_2 et il vient

$$W + W_1 = I_a \omega \frac{d\omega}{dt_2},$$

d'où

$$W = W_1 \frac{\frac{d\omega}{dt_1}}{\frac{d\omega}{dt_2} - \frac{d\omega}{dt_1}},$$

et

$$I_a = \frac{W_1}{\omega} \left[\frac{1}{\frac{d\omega}{dt_2} - \frac{d\omega}{dt_1}} \right].$$

Une autre méthode consiste à mesurer la puissance pendant l'accélération; en faisant la correction des pertes en H/I dans l'induit et les balais, cette mesure donnera les pertes dans le fer et les frottements. Le gradient $\frac{d\omega}{dt}$ peut être pris sur la courbe d'amortissement pour la même vitesse et il vient alors

$$I_a \omega \frac{d\omega}{dt} = W, \text{ d'où } I_a = \frac{W}{\omega \frac{d\omega}{dt}};$$

pour de très grandes machines, il est bon de tracer les courbes d'accélération et d'amortissement pour la même excitation. La méthode d'essai est relativement simple; la machine fonctionnant en réceptrice à sa vitesse normale, la tension d'alimentation est brusquement réduite d'une petite quantité et on détermine la courbe d'amortissement dans ces conditions.

Pour déterminer la vitesse, Kapp recommande d'utiliser deux balais isolés des autres balais normaux et de mesurer la tension. Si E_1 est la tension mesurée, i_1 le courant dans l'induit au même moment, on a :

Puissance motrice = $E_1 i_1$ = Pertes moins les watts fournis par la diminution de la vitesse.

La machine tournant un peu au-dessous de sa vitesse, la tension d'alimentation est augmentée brusquement et un courant i_2 circule dans l'induit; il en résulte une accélération et on a alors :

Force motrice = $E_2 i_2$ = Pertes plus les watts absorbés par l'accélération. Si les pertes du moteur sont W , il vient

$$E_1 i_1 = W - I_a \omega \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_1,$$

$$E_2 i_2 = W + I_a \omega \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_2;$$

on peut admettre que la vitesse ω est proportionnelle à la tension, soit $E_1 = E_2 = k\omega$, d'où

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{k} \frac{dE}{dt},$$

et en substituant dans les équations ci-dessus

$$i_1 = \frac{W}{k\omega} - \frac{I_a}{k^2} \left(\frac{dE}{dt} \right)_1,$$

et

$$i_2 = \frac{W}{k\omega} + \frac{I_a}{k^2} \left(\frac{dE}{dt} \right)_2,$$

d'où

$$(i_2 - i_1) = \frac{I_a}{k^2} \left[\left(\frac{dE}{dt} \right)_1 + \left(\frac{dE}{dt} \right)_2 \right],$$

et

$$I_a = \frac{k^2 (i_2 - i_1)}{\left(\frac{dE}{dt} \right)_1 + \left(\frac{dE}{dt} \right)_2};$$

la figure 5 montre les différentes courbes qu'il est nécessaire de tracer pour appliquer la méthode. La détermination de $\frac{d\omega}{dt}$ est la base de toute l'exactitude du procédé de mesure

des pertes; or, le tracé de la tangente à la courbe est, en général, très délicat malgré tous les procédés ingénieux utilisés dans ce but; le résultat obtenu laisse fortement à désirer et l'auteur pense qu'il est préférable de calculer les valeurs de $\frac{d\omega}{dt}$ en partant de la courbe par différentiation de cette dernière. A cet effet, il admet que cette courbe peut être représentée par une équation de la forme

$$\omega = \omega_0 + At + Bt^2 + Ct^3;$$

il en résulte que

$$\frac{d\omega}{dt} = A + 2Bt + 3Ct^2;$$

par suite, si sur la courbe nous prenons trois points et si nous substituons les valeurs correspondantes de ω et de t dans la première équation, nous obtenons un système de

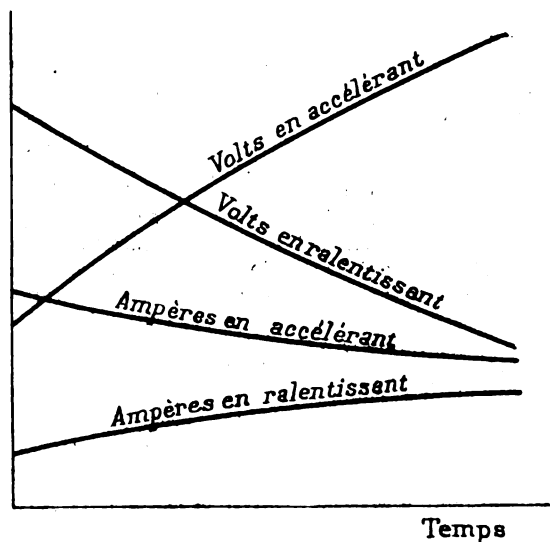


Fig. 5.

trois équations à trois inconnues qui nous donneront A , B et C et, par suite, la valeur de $\frac{d\omega}{dt}$; le calcul est facilité si les valeurs choisies pour t sont variées de dix en dix secondes. Si on désire séparer les pertes, il est nécessaire de tracer trois courbes : a) avec pleine excitation; b) sans excitation; c) sans excitation et balais levés. Le premier essai donne les pertes dans le fer et les frottements, le second les pertes par frottement, y compris les frottements des balais et le dernier donne les pertes par frottement et ventilation. Les avantages de la méthode sont les suivants : 1° il n'est nécessaire de faire aucune hypothèse sur la loi de variation des pertes en fonction de la vitesse; 2° la puissance consommée est petite et, par conséquent, l'essai peut se faire sur de très grosses machines; 3° la méthode peut s'appliquer aussi aux alternateurs et aux moteurs synchrones aussi bien qu'aux machines à courant continu; cependant l'auteur fait des réserves en ce qui concerne l'application à l'étude des moteurs d'induction.

E. B.

Essais d'isolateurs soumis à des tensions de haute fréquence (1).

I. INTRODUCTION. — On constate souvent sur les isolateurs de ligne des éclatements dont le caractère est différent de ceux remarqués aux essais. Une grande partie de ces éclatements a sans doute une origine mécanique et provient de l'emploi de ciment dont le coefficient de dilatation est différent de celui de la porcelaine. Mais une autre partie de ces éclatements doit être imputée aux phénomènes à haute fréquence. Ce genre d'éclatement est caractérisé par le fait qu'il se produit non seulement sur la tête de l'isolateur, mais aussi sur les parties extérieures des jupes; il faut donc que ces parties soient soumises à des efforts électriques plus grands que dans les essais à la fréquence de 50 p : s.

Les tensions à haute fréquence ont leur origine dans les perturbations du réseau, soit par mise en circuit, soit par coup de foudre.

Ces faits attirèrent l'attention des électriciens sur la nécessité de rendre plus serrés les essais d'isolateurs. Tout d'abord, on mit en circuit brusquement l'isolateur sous des tensions de l'ordre de la tension d'éclatement à basse fréquence ou supérieures à cette tension. On est parvenu à faire exécuter cette expérience automatiquement en reliant le primaire du transformateur à un générateur à champ faible; par suite de la réaction d'induit, l'arc s'éteint puis le générateur reprenant sa tension le phénomène se répète. (Voir Austin, *Proc. A. I. E. E.* 1915, p. 2622).

Durant le cours de ces dernières années, de nombreuses méthodes d'essais ont été imaginées; elles ont toutes pour but de soumettre l'isolateur à un choc de tension, avec des tensions supérieures à la tension normale du courant à 50 p : s. Ces méthodes peuvent être classées en deux groupes : la méthode du circuit oscillant simple, et celle du circuit oscillant composé, formé par deux circuits accouplés.

Le premier type de méthode a été appliquée particulièrement par Imlay et Thomas (2), Austin (3), Chernyshoff et Butmann (4), F.-W. Peek (5), W. Petersen (6); le second type a été utilisé par Creighton (7).

Les recherches résumées ci-après montrent que les phénomènes sont tout différents suivant qu'il s'agit de l'un ou l'autre de ces deux types de méthodes.

II. ESSAIS D'ISOLATEURS PLACÉS DANS UN CIRCUIT OSCILLATOIRE SIMPLE. — La disposition employée (fig. 1) résulte du désir

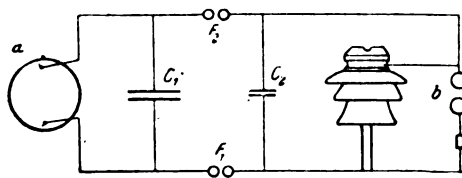


Fig. 1. — Essai au choc par haute tension continue.

de soumettre les isolateurs à des chocs de tensions analogues à ceux provoqués par les ondes vagabondes.

La capacité C_1 est chargée au potentiel E_1 par la machine

(1) Fritz GRUNENWALD, *E. T. Z.*, 10^e décembre 1921, t. XLII, p. 1377-1384, 7500 mots, 18 fig., 9 tab.

(2) IMLAY et THOMAS, *Trans. A. I. E. E.*, 1912, p. 212.

(3) AUSTIN, *Proc. A. I. E. E.*, 1915, p. 2622.

(4) CHERNYSHOFF et BUTMANN, *The Electric Journal*, 1915, p. 282.

(5) F.-W. PECK, jr., *Proc. A. I. E. E.*, 1915, p. 1695.

(6) Brevet allemand n° 315 792, 21^e Classe, 27^e Groupe, du 13 novembre 1919.

(7) CREIGHTON, *Proc. A. I. E. E.*, mai 1915.

a jusqu'au moment où l'étincelle éclate en F_1 et F_2 . Lors de l'éclatement, le condensateur C_2 monté en parallèle avec l'isolateur se charge par des oscillations à une tension qui tend vers la limite E_2 qui est sensiblement égale à E_1 tant que C_2 est petit par rapport à C_1 , et tant qu'aucune rupture n'a lieu à l'isolateur. On a, en effet, entre E_2 et E_1 la relation suivante

$$E_2 = E_1 \frac{C_1}{C_1 + C_2},$$

en faisant abstraction de la conductibilité de la porcelaine. Cependant les maxima de tension peuvent être considérablement plus élevés que la tension initiale E_1 , ainsi qu'on le voit

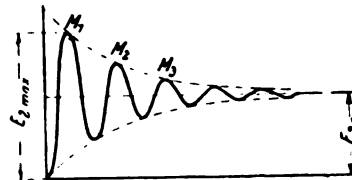


Fig. 2. — Courbe des tensions appliquées à l'isolateur pendant l'essai au choc.

par la figure 2 représentant les tensions aux bornes de la capacité C_2 et de l'isolateur.

Avec un amortissement faible, on a

$$E_{2\max} \approx 2 E_1 \frac{C_1}{C_1 + C_2}.$$

Bien entendu, cette relation suppose, outre l'amortissement faible, que C_2 est petit par rapport à C_1 , et que la conductibilité de l'isolateur est négligeable. On a trouvé dans les essais, pour $C_1 = 5\,000$ cm et $C_2 = 475$ cm,

$$E_{2\max} = 1,65 E_1 \text{ à } 1,81 E_1.$$

Les surtensions les plus grandes étaient obtenues avec une bobine d'induction de 210 000 C. G. S., et les surtensions les plus faibles sans l'emploi de bobine. La fréquence du phénomène était de 458 000 p : s avec bobine et de 1 400 000 p : s sans bobine.

On peut régler les distances des boules en F_1 et F_2 de telle manière que l'étincelle éclate à l'isolateur. Alors le phénomène représenté par la figure 2 cesse, et les condensateurs C_1 et C_2 se déchargent par l'isolateur avec d'autres fréquences que celles mesurées plus haut.

L'auteur a étudié l'isolateur à cloches pour déterminer la tension minimum nécessaire à l'établissement de l'étincelle persistante sur l'isolateur. Les essais montrent que cette tension est plus élevée lorsque le support d'isolateur est relié au pôle positif (impulsion positive), que lorsqu'il est relié au pôle négatif (impulsion négative). Le support de l'isolateur agit donc comme une pointe.

Les mesures étaient effectuées au moyen d'un éclateur à boules; on réglait la machine à influence de telle sorte qu'une étincelle éclate en F_1 et F_2 toutes les quatre à sept minutes.

Par contre, aucun changement ne se produit ni dans la grandeur ni dans la polarité de la tension minimum d'éclatement si, au lieu de bouteilles de Leyde formant le condensateur C_2 , on utilise une canalisation d'au moins 15 m de longueur. De même, il n'y a aucun changement quand l'isolateur est humide.

Le caractère extérieur de l'étincelle a été fixé par les deux

photographies des figures 3 et 4. Dans le cas de la figure 3 (impulsion négative), l'étincelle jaillit perpendiculairement

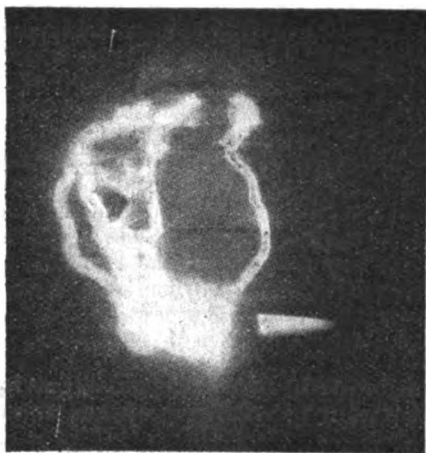


Fig. 3. — Essai au choc. Impulsion négative, tension d'éclatement 84 900 v.

au support; dans le cas de la figure 4 (impulsion positive), elle se glisse le long de la partie intérieure de l'isolateur.

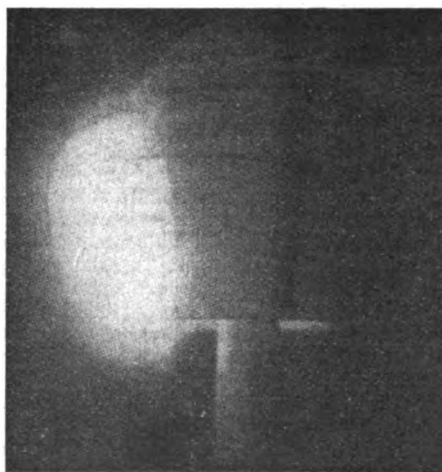


Fig. 4. — Essai au choc. Impulsion positive, tension d'éclatement 108 500 v.

III. ESSAI D'ISOLATEURS PLACÉS DANS UN CIRCUIT OSCILLATOIRE COMPOSÉ. — La figure 5 représente la disposition utilisée, dans laquelle on met en résonance les circuits primaire et

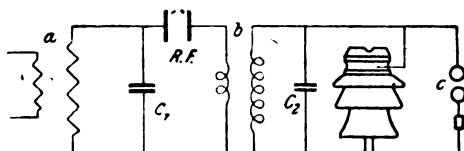


Fig. 5. — Essai d'isolateurs au moyen de circuits oscillants couplés.

secondaire. Le circuit primaire est alimenté au moyen du transformateur a par du courant à 50 p. s; R F est un rupteur rotatif réglable. La tension est réglée par la distance

des électrodes de ce rupteur, ce qui est possible, puisqu'il existe, à la résonance, une relation simple entre la tension de l'étincelle et la tension au condensateur sur le secondaire du transformateur Tesla représenté en b.

Avec ce dispositif, la tension minimum d'éclatement est notablement inférieure à celle obtenue avec le circuit oscillatoire simple. On constate que la tension minimum d'éclatement diminue en même temps que le degré de couplage des circuits; elle est presque indépendante de la fréquence. Un changement de pôle, soit à l'isolateur, soit au condensateur primaire ne donne aucune différence pour la tension minimum.

La figure 6 donne l'apparence de l'étincelle obtenue avec ce second dispositif. Cette étincelle suit la surface de l'isolateur et le fait est d'autant mieux marqué, que l'on se rap-

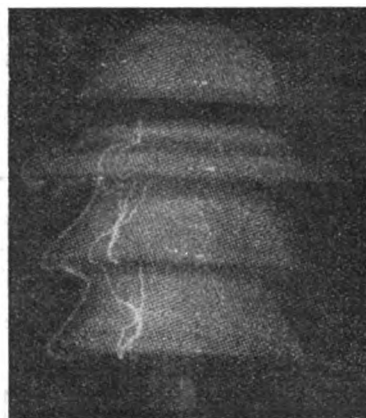


Fig. 6. — Essai avec le transformateur Tesla. Tension d'éclatement 70 000 v maximum.

proche plus du minimum d'éclatement et que le couplage est plus lâche. Pour des tensions supérieures, l'étincelle se détache par endroits de la surface, surtout près du support.

Les différences caractéristiques des tensions minima d'éclatement, la forme toute différente de la décharge, l'influence nulle de la polarité font penser que l'essai avec les circuits couplés et l'emploi du transformateur Tesla donnent lieu à d'autres faits que l'essai en circuit oscillatoire simple. En effet, comme la technique de la haute fréquence le montre, on a au transformateur Tesla une tension réellement alternative. Le phénomène se présente donc comme une oscillation de deux trains d'ondes de fréquences presque identiques. Cela arrive notamment dans le cas de résonance, quand le degré de couplage est faible entre les circuits primaire et secondaire. Comme la formation d'aigrettes commence déjà pour de très faibles amplitudes de tension, les amplitudes ultérieures d'une même oscillation, plus grandes, trouvent une partie de la surface de l'isolateur recouverte de petits canaux d'air ionisé, relativement bons conducteurs; bientôt l'ionisation de la surface est telle qu'une amplitude relativement faible suffit pour qu'une étincelle éclate.

IV. SUR LA LOI DE FORMATION DE L'ÉTINCELLE D'APRÈS TOEPLER. — Il paraît indispensable de rapprocher les phénomènes décrits des travaux de Toepler sur la formation des étincelles (Toepler, *Poggendorfs Ann.*, 1898, t. LXVI, p. 1061; *Ann. d. Physik*, 1906, p. 193; *id.*, 1907, p. 867; *id.*, 1917, p. 217). Toepler a effectué des expériences très étendues en employant des plaques de verre. Le choc de tension était

produit par la décharge d'un condensateur sur une résistance ou sur une bobine de réactance. L'emploi de résistance conduisait à une décharge apériodique et à des étincelles de glissement dites du *premier genre*, tandis que la décharge oscillatoire obtenue par l'emploi de la bobine donnait des étincelles de glissement dites du *second genre*.

Toepler est arrivé ainsi à établir, pour les étincelles du premier genre, la relation empirique suivante

$$f = \beta P^{\frac{1}{2}} C^{\frac{1}{2}},$$

où :

f est la longueur de l'étincelle de glissement en centimètres ;

P , la tension appliquée en kilovolts ;

C , la capacité de la surface ;

β , une constante.

Le recouvrement ou la saupoudration de la surface n'ayant aucune influence, on en déduit que la formation de ces étincelles a lieu dans la couche d'air environnante. De plus, on a pu préciser qu'une charge de la surface du verre de même polarité que le point de départ du choc de charge *contrariait* la formation des étincelles du premier genre, une charge de sens contraire la *favorisait*.

Quant à la formation des étincelles du second genre (à caractère oscillatoire), elle est favorisée par le fait que chaque oscillation laisse après elle un canal bon conducteur. Mais, comme la formation de ces étincelles dépendait par trop des conditions des expériences, Toepler renouça à en formuler la loi.

Ces deux catégories d'étincelles correspondent, en principe, aux essais d'isolateurs par les deux méthodes décrites ; les étincelles du premier genre se rapprochant des résultats obtenus par le choc de tension et celles du second genre, de ceux obtenus avec un transformateur Tesla.

L'auteur a ainsi été conduit à répéter les expériences de Toepler en remplaçant la plaque de verre par une plaque photographique ou par des plaques de mica de différentes épaisseurs. Ces essais conduisent aux conclusions suivantes : il y a une bonne concordance pour l'essai au choc entre la fonction théorique et l'expérience, au moins pour des distances suffisantes des électrodes. Cette différence s'explique d'ailleurs par le fait que la relation de Toepler correspond au cas où l'on peut pratiquement négliger le temps pendant lequel la tension s'établit. La concordance subsiste aussi pour les essais en courant alternatif. Par contre, les résultats obtenus avec le transformateur Tesla sortent entièrement du cadre de la formule de Toepler, ainsi que l'avait d'ailleurs déjà signalé Tesla lui-même.

V. COMPARAISON DES RÉSULTATS OBTENUS PAR LES DEUX MÉTHODES D'ESSAI. — Pour avoir une idée de l'application des méthodes décrites et une mesure pour la grandeur des différents efforts électriques, l'auteur a soumis un grand nombre d'isolateurs à l'essai au choc et à l'essai avec le transformateur Tesla.

Il a utilisé, à cet effet, des isolateurs à cloche qui avaient été soumis au préalable à une tension alternative à 50 p : s, légèrement inférieure à la tension d'éclatement, et il leur a fait subir soit 20 chocs successifs, soit quelques milliers d'impulsions successives à haute fréquence. Il résulte de cette étude que, par l'essai au transformateur, on élimine un plus grand nombre d'éléments que par l'essai au choc, lequel, cependant, donne lieu à de plus hautes tensions.

CONCLUSIONS. — Ces recherches ont mis en lumière les points suivants :

1° Il peut se produire des tensions à haute fréquence

notablement supérieures à celles que l'on obtient avec la fréquence de 50 p : s ; 2° A haute fréquence, il se forme à la surface de l'isolateur des aigrettes et des décharges d'étincelles de glissement qui amènent sur l'isolateur une répartition des tensions différente de celle produite par les tensions alternatives de fréquence normale ; 3° Les chocs de tension semblent être particulièrement préjudiciables à l'isolateur.

Ces résultats montrent la nécessité d'essayer les isolateurs avec des courants de haute fréquence. Ces essais sont surtout nécessaires pour les petits types d'isolateurs, puisqu'ils sont soumis à des chocs de tension dont la grandeur peut être beaucoup plus élevée que la tension d'exploitation.

Enfin, la tension d'éclatement pour l'isolateur humide n'a pas l'importance qu'on lui attribue en général ; en effet, pour les courants à haute fréquence, cette tension d'éclatement est sensiblement la même qu'à sec. — Lr.

Utilisation de la force thermo-électrique de contact pour identifier quelques aciers (1).

L'essai de dureté par bille Brinell, sur métal recuit, permet d'identifier, dans les ateliers, avec une approximation suffisante, les diverses catégories d'aciers ordinaires. Pour les aciers spéciaux, cet essai ne suffit plus, des aciers de nature différente présentant la même dureté. Cette considération a conduit M. Galibourg à rechercher une méthode classant les aciers dans un ordre différent du classement par dureté, mais applicable, comme l'essai Brinell, à chaque pièce individuellement.

Le dispositif employé à cet effet, décrit dans une récente note présentée à l'Académie des Sciences, est basé sur l'utilisation des forces électromotrices de contact produite par cet objet et un autre métal. Un bain de mercure est chauffé à une température de 120 C au moyen d'une résistance électrique en nichrome. Un fil de fer électrolytique plonge dans le bain et est relié à l'une des bornes d'un millivoltmètre. L'autre borne est reliée à une pince métallique refroidie par circulation d'eau, laquelle serre la pièce à essayer. La pièce, maintenue à une extrémité, dans la pince, est amenée à l'extrémité opposée, en contact avec le bain de mercure. Au bout de quatre à cinq secondes, l'aiguille du millivoltmètre se stabilise. Le mercure a pour seule fonction de fermer le circuit en assurant une liaison électrique et thermique parfaite entre le fil de métal-type et la pièce à essayer. Un très grand nombre d'essais a été effectué dans le but de déterminer la force thermo-électromotrice produite, dans ces conditions, par divers aciers ordinaires et spéciaux, pour les températures comprises entre 20° et 320°. Pour des températures plus élevées, le mercure est remplacé par du plomb. En faisant varier la température du bain, on obtient différentes valeurs de la force électromotrice. En portant sur deux axes de coordonnées les valeurs de la température en abscisse et celles de la force électromotrice en ordonnées, on obtient des courbes dont l'allure ne varie que très peu avec la trempe, pour un même acier, mais, par contre, l'allure est nettement différente pour des aciers n'ayant pas la même composition.

Le fait que l'allure de la courbe reste sensiblement la même pour différentes trempes, dispense de faire subir aux pièces examinées un traitement spécial. Des essais effectués par l'auteur, on déduit que les différences de force électromotrice entre les divers aciers sont suffisantes pour qu'à la température choisie pour l'essai (120°), la mesure de la force électromotrice dans les conditions indiquées permette de classer les aciers courants ordinaires et spéciaux dans un ordre différent de celui qui donne l'essai de dureté Brinell, et de donner par conséquent une deuxième équation (la première étant fournie par la dureté) pour présumer de la nature d'un acier dont on ne peut faire l'analyse. — M.-H. B.

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 20 février 1922, t. CLXXIV, p. 547-550, 400 mots, 3 fig.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

L'Energie industrielle.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 31 MARS 1922.

Le Conseil rend compte aux actionnaires de l'exploitation des réseaux de la société durant l'exercice 1921.

A Madagascar, l'exploitation des réseaux d'eau et d'électricité s'est poursuivie normalement. Il est toutefois indispensable que la colonie, prenant conscience des suppléments de charge, qui sont la conséquence de la guerre, accorde des augmentations de tarifs équitables. Les négociations n'ayant pu réussir jusqu'à présent, une instance a été introduite devant le Conseil de Contentieux de la colonie.

L'exécution des travaux nécessaires à l'alimentation du grand poste de télégraphie sans fil a été commencée, et sera vraisemblablement terminée dans le cours de l'année.

La mission envoyée à Madagascar a rapporté de son voyage une impression favorable sur les possibilités de développement des entreprises de la société dans l'île. Elle a étudié notamment les projets de création d'autres exploitations dans les principales villes en dehors de Tananarive : Tamatave, Majunga, Diego, Antsirane, etc.

Dans le réseau Rhône-et-Loire, la société a réalisé diverses extensions de lignes et a augmenté la puissance des postes de réception du courant à 30000 v, qui a été portée à 2450 kv-a. Elle a obtenu des relèvements provisoires pour les tarifs de lumière dans les communes dont elle est concessionnaire; des négociations sont en cours pour la fixation de nouveaux tarifs définitifs. Elle continue les pourparlers avec les communes non encore desservies en vue d'obtenir les participations nécessaires aux frais de premier établissement.

Dans la Haute-Auvergne, elle a installé à la Bourboule une troisième turbine de 500 ch; elle a continué la réfection des travaux d'infrastructure du Funiculaire, et terminé le pont sur route du Bois des Investissons. La Société de la Haute-Dordogne, dont elle possède une fraction importante du capital, a poursuivi sans interruption les travaux pour l'organisation de la chute de Saint-Sauves, dont la mise en fonctionnement aura lieu incessamment. Elle a pris la gérance du secteur exploité par M. Rambaud dans les départements de la Corrèze et du Cantal. Il s'agit d'un réseau alimenté par une usine d'environ 400 ch sur la Triouzoune et qui dessert notamment les villes de Meymac, de Neuvic et de Champagnac.

Dans la Drôme, elle a terminé la ligne de la Bégude de Mazenc à Dieulefit, où elle a traité une importante fourniture de force motrice. Les contrats d'achat de courant à la Société d'Électricité de la Vallée du Rhône et à la Société générale de Force et Lumière, dont ces sociétés avaient demandé la réalisation en vertu de la loi Faillot, ont été renouvelés. Des relèvements provisoires ont été obtenus dans toutes les communes desservies. Les pourparlers sont

parlout en bonne voie pour une entente définitive, sauf à Montélimar, où la société a dû introduire une instance devant le Conseil de Préfecture de la Drôme.

A l'Est de Lyon, plusieurs concessions ont été prises et mises en exploitation. Plus des trois quarts des communes situées dans la zone réservée par les accords avec la Société de Force et Lumière sont actuellement desservies.

Dans l'Oisans, l'usine hydroélectrique d'Allemont, sur la rivière de l'Eau d'Olle a été terminée. La société dispose donc actuellement d'une puissance de 2000 ch qui peut être portée à 3000 ch par l'adjonction d'un troisième groupe dont l'emplacement est préparé. L'usine a été mise en service à la fin de l'année dernière.

A Montceau-les-Mines, les résultats de cette exploitation ont continué à être satisfaisants.

Dans la Côte-d'Or, la société a racheté le réseau de Savigny-sous-Beaune qui va être relié prochainement au réseau général. Les bénéfices de ce secteur sont en diminution, en raison de la crise qui a atteint l'industrie vinicole bourguignonne.

A Alais, le courant a été régulièrement fourni par la Centrale des Mines de la Grand'Combe. Malheureusement, la crise industrielle, qui a sévi particulièrement dans l'industrie minière et métallurgique, a influé sur les résultats de l'exercice. Les pourparlers continuent avec la ville d'Alais pour l'établissement d'un régime définitif, qui serait substitué aux accords provisoires existant actuellement pour le relèvement des tarifs.

Dans les réseaux de Bretagne, les résultats d'exploitation sont en progression assez notable, quoique encore assez insuffisants. On continue la réfection des diverses usines dont l'entretien n'avait pas pu être suffisamment assuré au cours de la guerre.

Dans l'Orléanais, le réseau a donné cette année une intéressante plus-value de bénéfice.

La dérivation destinée à desservir la région de Souppes a été terminée et mise en exploitation. Les villes de Pithiviers et de Malesherbes ont accepté des relèvements de tarifs. L'exécution de la ligne destinée à relier ces villes au réseau général, pour laquelle des subventions ont pu être obtenues, a été commencée, et sera terminée dans le courant de l'année.

Dans les Landes et Basses-Pyrénées, les travaux de consolidation du barrage d'Orthez ont été terminés et ont donné des résultats satisfaisants. La réfection des vannes et la mise en place de la nouvelle turbine de 900 ch seront terminées incessamment. La société disposera d'ici à quelques mois d'une usine susceptible de donner une puissance d'environ 2000 ch d'une façon à peu près permanente. La ligne haute tension de Dax à Orthez a été également terminée et sera incessamment mise en service. La société a obtenu les concessions d'Hagetmau et de Peyrehorade, avec des subventions assez importantes pour la construction des lignes destinées à les alimenter.

Le tribunal de Bagnères-de-Bigorre a rejeté la demande qui avait été formée par deux anciens actionnaires de la Société des Forces motrices du Lac Bleu contre la régularité de la cession de cette usine à la société. Elle a bon espoir que cette décision sera confirmée par la Cour d'appel de Pau devant laquelle ses adversaires ont évoqué l'affaire.

Malgré l'arrêt qui s'est produit dans l'activité industrielle, au cours de l'année 1921, les résultats d'exploitation sont satisfaisants. Ils se traduisent, en effet, par un bénéfice total de 3 454 590,54 fr contre 2 660 629,27 fr l'année précédente, soit une augmentation d'environ 30 pour 100.

Pour la société filiale, Energie électrique de la Basse-Loire, les résultats de l'exercice 1921, bien qu'encore déficitaires cette année, marquent cependant une amélioration sur ceux de l'exercice précédent.

Les diverses sociétés que l'Energie industrielle contrôle dans cette région, la Compagnie électrique de Menton, la Société de Distribution d'Eau, de Lumière et de Force de Monte-Carlo supérieur et Extensions, la Compagnie du Gaz et d'Électricité de Fréjus et Saint-Raphaël et service des Eaux de Fréjus, la Compagnie électrique de la Méditerranée ont donné des résultats satisfaisants.

La Cour d'appel d'Aix vient, en confirmant un jugement du tribunal de commerce de Nice, d'ordonner la restitution à la Société de Monte-Carlo supérieur, du réseau de Cabbé-Roquebrune, qui lui avait été enlevé sans droit, il y a environ trois ans. Cette société va donc rentrer incessamment en possession de ce secteur.

De nouveaux accords ont été, en outre, conclus avec l'Energie électrique du Littoral méditerranéen, pour la fourniture du courant à Beausoleil, à la Turbie et au Cap d'Ail.

La demande de la filiale, la Société hydroélectrique du Sud-Est, pour la concession de la chute de la Roya, entre Breil et la frontière italienne sud, a été prise en considération par l'Administration des Travaux publics.

Les affaires forestières de la société ont particulièrement souffert de la crise industrielle. L'élévation des tarifs de transport rend de plus très difficile aux exploitations de Savoie, de Charente et des Landes, la possibilité de concurrencer les bois du Nord sur le marché des régions libérées.

Par contre, la Société des Glacières et Frigorifiques de Saint-Nazaire a continué à donner d'excellents résultats. La construction de l'étage supplémentaire destiné à porter la capacité de l'entrepôt frigorifique à 4 000 t, a été terminée. Les résultats obtenus permettent, après des amortissements importants, de proposer à l'assemblée un dividende de 10 pour 100.

La société a vendu dans de bonnes conditions l'immeuble qu'elle avait acquis à Paris, 98 bis, boulevard Haussmann, et racheté pour un prix sensiblement inférieur, 29, rue de Rome, un immeuble de plus grande superficie où tous les services pourront être facilement installés.

La situation de trésorerie a continué à être satisfaisante. La différence entre l'actif réalisable et les engagements à court terme est d'environ 12 500 000 fr, chiffre peu différent de celui de l'année précédente.

La société n'a fait appel au crédit que sous la forme d'émission de bons 6 pour 100, dont le montant nominal s'élève à 1 870 000 fr.

Les réserves diverses, y compris les primes sur l'augmen-

tation de capital, s'élèvent à 3 185 504,35 fr contre 2 647 265,32 fr l'année précédente.

Les bénéfices bruts ont passé de 4 166 316,58 fr à 4 543 307,15 fr.

Les bénéfices nets, après l'emploi des sommes jugées nécessaires à l'amortissement, s'élèvent à 2 188 102,01 fr.

Si l'on y ajoute le report de l'exercice précédent de 120 542,92 fr, le solde disponible ressort à 2 408 644,93 fr qui se répartissent :

5 pour 100 à la réserve légale.
5 pour 100 d'intérêt statutaire aux actions.
5 pour 100 d'intérêt complémentaire.
111 111,10 fr d'attributions statutaires.

Le report à nouveau est de 88 128,73 fr.

Le dividende de 10 pour 100 sera distribué pour moitié contre la remise du coupon n° 18, le 15 mai prochain, et pour la seconde moitié contre la remise du coupon n° 19, le 15 novembre prochain.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1921.

| <i>Actif.</i> | | fr |
|------------------------------------------------------------------------|---------------|----|
| Usines, immeubles, concessions, réseaux..... | 24 896 806,51 | |
| Caisses, banques, bons du Trésor..... | 1 635 458,36 | |
| Effets à recevoir..... | 498 742,17 | |
| Débiteurs divers..... | 10 041 287,18 | |
| Portefeuille (actions et obligations diverses)..... | 7 000 342,65 | |
| Cautionnements..... | 24 000 » | |
| Branchements et compteurs en location..... | 1 950 582,42 | |
| Marchandises en magasin..... | 3 754 080,95 | |
| Mobilier, matériel et outillage..... | 448 883,46 | |
| Marchés en cours..... | 875 293,40 | |
| Frais de constitution, d'émissions d'actions, d'obligations, bons..... | 1 » | |
| Prime de remboursement des obligations 5 pour 100..... | 1 » | |
| Prime de remboursement des bons 6 pour 100..... | 309 710 » | |
| Compte d'ordre..... | 1 863 893,18 | |
| | <hr/> | |
| | 53 299 109,28 | |
| <i>Passif.</i> | | fr |
| Capital actions..... | 20 000 000 » | |
| Réserve légale..... | 379 694,30 | |
| Réserve pour amortissement du matériel, compteurs, branchements..... | 646 310,05 | |
| Réserve pour amortissement usines, réseaux, concessions..... | 959 500 » | |
| Prime sur augmentations du capital..... | 1 200 000 » | |
| Obligations 5 pour 100..... | 6 746 000 » | |
| Bons 6 pour 100..... | 13 870 500 » | |
| Effets à payer..... | 746 943,10 | |
| Créanciers divers..... | 5 179 560,11 | |
| Coupons à payer..... | 231 733,28 | |
| Part des coupons courus et non échus..... | 327 058,75 | |
| Compte d'ordre..... | 703 164,76 | |
| Profits et pertes : | | |
| Anciens..... | 120 542,92 | |
| Nouveaux..... | 2 188 102,01 | |
| | <hr/> | |
| | 53 299 109,28 | |

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur les rapports entre les concessionnaires des lignes à haute tension et les groupements agricoles des régions traversées par ces lignes.

Le « Journal officiel » du 22 avril 1922 publie, page 1500 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse suivantes :

13007. — M. Jovelet, député, rappelle à M. le ministre des Travaux publics que des compagnies de transport et de distribution d'énergie électrique installent partout des lignes à haute tension et demande : 1^o si l'administration a déjà pris, vis-à-vis de ces compagnies, toutes garanties pour que les agglomérations sises en dehors des tracés des lignes soient traitées sur un pied d'égalité avec celles que traversent ces lignes, les tracés n'ayant été préalablement à leur exécution, soumis à aucune enquête, et les compagnies paraissant les avoir étudiées, en vue de la desserte des gros industriels ou des agglomérations importantes au détriment des centres ruraux ; 2^o quels sont les tarifs maxima qui sont autorisés pour la vente du courant, et ajoute que, dans l'ignorance de ces tarifs, il n'est pas possible aux coopératives agricoles ni aux municipalités de s'engager et de répondre aux sollicitations des représentants des compagnies susvisées, faisant observer que ces deux conditions essentielles devront être exigées, préalablement à toute délivrance des concessions d'Etat. (Question du 15 mars 1922.)

Réponse. — 1^o L'instruction des demandes de concession d'Etat, notamment celles qui se rapportent à des lignes à haute tension, qui ont pour objet principal la distribution d'énergie aux services publics et pour objet accessoire, la fourniture de courant aux industriels, nécessite de longs délais, en raison des formalités réglementaires à remplir. Dans bien des cas, les lignes qui font l'objet de ces demandes, présentent un réel caractère d'urgence et il est de l'intérêt général d'en permettre l'établissement, sans attendre que l'acte de concession ait été passé, après enquête. Pour ne pas retarder l'exécution des lignes dont l'utilité est ainsi reconnue, l'Administration des Travaux publics autorise, à titre provisoire, leur exécution, aux risques et périls des entrepreneurs sous la condition qu'un accord préalable sera réalisé avec tous les services intéressés et sous la réserve expresse que cette autorisation ne préjuge en rien des résultats de l'enquête et que les installations réalisées devront être supprimées ou modifiées, si leur suppression ou leur modification est reconnue utile après l'enquête, au cours de laquelle le public est appelé à présenter ses observations et à exprimer ses desiderata. Les lignes à haute tension qui font l'objet de concessions de distributions aux services publics accordées par l'Etat, n'ont pas pour but d'alimenter directement les consommateurs, mais simplement de doter une région de l'énergie produite par les usines centrales ; leur rôle est comparable à celui d'une grande voie navigable qui, bien que ne passant pas par tous les centres intéressants, les dessert cependant par l'intermédiaire de canaux ou de rivières canalisées branchées sur elle. Le soin de mettre directement l'énergie à la disposition des consommateurs n'incombe pas aux exploitants des distributions aux ser-

vices publics, mais à ces services publics eux-mêmes, entreprises plus modestes exploitées le plus généralement par les concessionnaires de distributions publiques d'énergie auxquels les concessions sont accordées par les communes ou syndicats de communes intéressés, aux conditions et tarifs fixés par des cahiers des charges indépendants de ceux des concessions d'Etat et librement débattus entre les municipalités et leurs concessionnaires. Les lignes à haute tension concédées par l'Etat ne peuvent passer par toutes les agglomérations, mais les localités traversées ne sont pas les seules susceptibles d'être desservies, car les cahiers des charges des concessions de distribution aux services publics imposent aux concessionnaires l'obligation de fournir de l'énergie aux services publics qui fonctionnent en tout ou en partie dans une zone déterminée, ce qui nécessite simplement la construction de lignes secondaires branchées sur les lignes principales et aboutissant aux postes centraux d'alimentation desdits services publics.

2^o Les tarifs maxima sont fixés par les cahiers des charges ; ils n'ont un caractère définitif qu'après signature de l'acte de concession. Il convient de remarquer que l'énergie utilisée par les consommateurs leur est livrée non pas aux tarifs fixés par les cahiers des charges des concessions d'Etat de distribution aux services publics, mais à ceux qui sont insérés dans les cahiers des charges des concessions communales de distribution publique d'énergie. Les tarifs à insérer dans les cahiers des charges d'une concession communale dépendent de ceux de la concession d'Etat qui doit l'alimenter ; une commune qui désire engager des négociations en vue de la réalisation de sa propre distribution, avant signature de l'acte de la concession d'Etat, a incontestablement intérêt à être fixée sur les tarifs qui seront applicables à la concession d'Etat. Or, les tarifs proposés à l'appui d'une demande de concession d'Etat constituent des limites pour les tarifs définitifs, et la commune les connaît s'il a déjà été procédé à l'enquête de la demande de concession d'Etat. Si cette formalité n'a pas été encore remplie, la commune peut avoir connaissance des tarifs proposés en s'adressant à l'ingénieur en chef du Contrôle des Distributions d'Energie électrique du département.

Proposition de résolution tendant à la revision du système fiscal.

Le « Journal officiel » du 22 avril 1922 publie, p. 351 à 353 des « Documents parlementaires, Chambre », l'exposé des motifs de la proposition de résolution présentée par M. Poitou-Duplessy à la séance de la Chambre des Députés du 9 décembre 1921, tendant à la revision du système fiscal et au rétablissement des « quatre vieilles ». — Dans cet exposé, M. Poitou-Duplessy rappelle les critiques qui se sont élevées contre les divers impôts sur les revenus, les difficultés que rencontre leur perception, les anomalies choquantes qu'ils présentent dans leur répartition, et conclut qu'il importe de rétablir les anciennes contributions, les « quatre vieilles ». Le coefficient par lequel il conviendrait de multiplier les anciennes taxations pour que leur rendement couvre le déficit provenant de la suppression des

impôts sur les revenus ne serait d'ailleurs pas aussi élevé qu'on a voulu le laisser entendre : il serait de trois environ.

Loi fixant, pour une nouvelle période de cinq ans, le taux des contributions au fonds de garantie des exploitants non patentés, en matière d'accidents du travail.

Cette loi, en date du 18 avril 1922, est publiée au « Journal officiel », du 26 avril, p. 4 319; en voici le texte.

ARTICLE UNIQUE. — Les articles 10 et 36 de la loi du 3 avril 1910, modifiée par les lois des 27 février 1912, 27 décembre 1912, 17 août 1915 et 28 décembre 1918, sont modifiés ou complétés ainsi qu'il suit :

« **Art. 10.** — Le paragraphe 5 de cet article est modifié ainsi qu'il suit :

» § 5. — Les salariés dont la rémunération annuelle dépasse 10 000 fr ne seront point soumis aux obligations de la présente loi, mais ils conserveront leurs droits acquis, s'ils ont été antérieurement placés sous le régime de l'assurance obligatoire. Est présumé avoir la qualité d'assuré tout salarié dont la rémunération annuelle chez un même employeur n'excède pas 10 000 fr, à moins que ledit salarié ne bénéficie effectivement d'un des régimes spéciaux de retraites visé au présent article. »

Il est ajouté à cet article un paragraphe 6 ainsi conçu :

» § 6. — Les assurés obligatoires dont la rémunération annuelle viendra à dépasser 10 000 fr pourront, sur leur demande, continuer à bénéficier de l'assurance obligatoire, s'ils comptent déjà quinze années au moins d'assurance obligatoire, pendant lesquelles ils ont régulièrement effectué les versements réglementaires prévus à l'article 4, paragraphe 2.

» **Art. 36.** — Le paragraphe 6, 1^o de cet article est modifié ainsi qu'il suit :

» § 6. — Les dispositions des paragraphes précédents sont étendues :

» 1^o Aux salariés dont le salaire annuel est supérieur à 10 000 fr, mais ne dépasse pas 12 000 fr. »

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des Députés, sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Alger, le 18 avril 1922.

Sur l'application de la taxe sur les automobiles, suivant que celles-ci appartiennent à une société anonyme ou à ses directeurs ou administrateurs.

Le « Journal officiel » du 28 avril 1922 publie, page 1 505 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse suivantes :

13132. — M. Victor Le Guen, député, demande à M. le ministre des Finances : 1^o Si un administrateur d'une société anonyme, directeur ou sous-directeur de tout ou partie des usines de la société, peut, bien que non imposé personnellement à la patente, prétendre au bénéfice de la demi-taxe pour une voiture automobile lui appartenant et dont il se sert habituellement pour les besoins de la société; 2^o si, dans une société en nom collectif, tous les associés qui prennent une part active à la direction de l'entreprise peuvent également bénéficier de la demi-taxe pour les voitures automobiles leur appartenant et dont ils se servent habituellement pour l'exercice de la profession sociale, alors même qu'ils ne seraient pas personnellement assujettis à la patente (associés secondaires du tableau C exemptés par l'article 21 de la loi du 15 juillet 1880). (Question du 22 mars 1922.)

Réponse. — 1^o Réponse négative. Pour que la demi-taxe puisse être appliquée, il faut que la voiture appartienne à la société anonyme, qui est seule imposée à la patente;

2^o réponse affirmative. A l'égard des associés secondaires du tableau C, l'administration continue à faire application de la jurisprudence du Conseil d'Etat qui avait reconnu à ces contribuables le droit de prétendre au bénéfice de la demi-taxe, bien qu'ils ne soient pas personnellement inscrits au rôle des patentes.

Sur l'impossibilité d'admettre les titres des emprunts de guerre comme moyens de paiement des impôts sur les revenus.

Le « Journal officiel » du 28 avril 1922 publie, page 1 506 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse qui suivent :

13190. — M. Lecourtier, député, demande à M. le ministre des Finances s'il ne serait pas possible d'admettre pour le paiement de l'impôt sur le revenu et des impôts cédulaires les titres de rente (emprunts de guerre). (Question du 25 mars 1922.)

Réponse. — Réponse négative. L'impôt n'est payable qu'en numéraire, billets de la Banque de France, coupons de rente et bons de la Défense nationale échus. Il ne peut normalement être effectué en rente sur l'Etat, le Trésor ne pouvant accepter de la rente perpétuelle, c'est-à-dire non remboursable pour autoriser le paiement des impôts sur les revenus au moyen de titres de rentes; mais il convient de ne pas perdre de vue qu'une disposition législative de cette nature obligerait l'Etat à consacrer à l'amortissement de sa dette, une partie considérable des ressources qui lui sont nécessaires pour assurer la marche de ses services et l'amènerait nécessairement à parer au déficit budgétaire par des emprunts qui, vraisemblablement, seraient effectués dans des conditions plus onéreuses.

Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires travaux antérieurs au 1^{er} juillet 1920, travaux en régie.

Le « Journal officiel » du 11 avril 1922 publie, p. 1 476 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse suivantes :

13035. — M. Narcisse Boulanger, député, demande à M. le ministre des Finances : 1^o si l'impôt sur le chiffre d'affaires est dû pour des travaux exécutés antérieurement au 1^{er} juillet 1920 et réglés postérieurement; 2^o si l'on peut déduire du chiffre d'affaires le salaire payé à l'ouvrier pour l'exécution du travail; 3^o si un travail exécuté en régie, c'est-à-dire à l'heure, doit figurer comme chiffre d'affaires. (Question du 17 mars 1922.)

Réponse. — 1^o L'impôt institué par l'article 59 de la loi du 25 juin 1920 ne frappe que les affaires réalisées postérieurement au 1^{er} juillet 1920, date d'application de la loi; par suite, les travaux qui ont été entièrement exécutés avant cette date échappent à la perception de l'impôt, alors même qu'ils auraient fait l'objet d'un paiement postérieur, à la condition que le redevable se conforme aux dispositions de l'article 22 du décret réglementaire du 21 juillet 1920, c'est-à-dire qu'il inscrive les affaires de cette nature sur un état spécial et qu'il soit en mesure de fournir à l'administration toutes justifications utiles; 2^o l'impôt institué par l'article 59 de la loi du 25 juin 1920 n'est pas un impôt sur les bénéfices, mais sur le chiffre d'affaires réalisés. Il est dû, aux termes de l'article 62 de la même loi, sur le montant brut de la rémunération encaissée, sans aucune déduction pour frais et dépenses quelconques à la charge du redevable. Il n'y a donc pas lieu, pour le calcul de l'impôt, de déduire les salaires payés à des ouvriers pour l'exécution du travail; 3^o un ouvrier travaillant seul et pour son compte et ne fournissant aucune matière première, qui exécute des travaux à l'heure, sous la direction du maître de l'ouvrage, est un simple sala-

rié, assujetti à l'impôt cédulaire sur les traitements et salaires et qui, par suite, est exonéré de l'impôt sur le chiffre d'affaires. Mais si la personne qui exécute des travaux, même à l'heure, emploie des ouvriers, elle exerce une profession commerciale et elle se trouve redevable de l'impôt sur le chiffre d'affaires.

Sur l'application de l'impôt de 10 pour 100 sur les intérêts des créances.

Le « Journal officiel » du 11 avril 1922 publie, p. 1 476 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

12 995. — M. Delesalle, député, demande à M. le ministre des Finances : 1° si l'administration de l'enregistrement n'est pas autorisée à considérer, suivant les termes de l'article 38 de la loi du 31 juillet 1917, qui exonère de l'impôt de 10 pour 100 sur les intérêts des créances « toute opération commerciale ne présentant pas le caractère juridique d'un prêt », les comptes ouverts en banque aux coopératives civiles de reconstruction comme exempts de cet impôt de 10 pour 100, ajoutant que ces comptes ont pour seul but de faciliter leurs opérations et portent au crédit des remises de chèques ou de virements par le Crédit national au débit des paiements par chèques aux entrepreneurs ayant effectué des travaux pour le compte de ces coopératives, que ces comptes, d'une part, présentent réellement le caractère commercial et, d'autre part, ne constituent ni des prêts ni des dépôts au sens juridique du mot ; 2° si le caractère commercial leur est reconnu de plein droit ou si l'intention des parties à cet égard doit être constatée par écrit, et, dans l'affirmative, en quels termes et sous quelle forme. (Question du 15 mars 1922.)

Réponse. — 1° L'article 38 de la loi du 31 juillet 1917 dispose que : a) l'impôt sur le revenu des capitaux mobiliers s'applique aux intérêts, arrérages et tous autres produits ; b) des dépôts de sommes d'argent, à vue ou à échéance fixe, sont atteints par la taxe, quel que soit le dépositaire et quelle que soit l'affectation du dépôt ». En raison de la généralité de ce texte qui ne comporte aucune distinction, les intérêts de tous les dépôts, à vue ou à échéance fixe, sont atteints par la taxe, quel que soit le caractère, civil ou commercial, desdits dépôts. Or, les comptes envisagés par l'honorable député sont bien, en réalité, des comptes de dépôt de sommes ; il importe donc peu qu'ils puissent avoir un caractère commercial. Comme, par ailleurs, ils ne constituent pas des comptes courants, à défaut de réciprocité de remises, ils ne peuvent bénéficier d'aucune exemption. Rapprocher réponse à la question écrite n° 12 237, du 3 février 1922, *Journal officiel* du 1^{er} mars 1922. « Débats, Chambre », p. 580, 2^e colonne ; 2° l'impôt étant exigible même lorsque le dépôt a un caractère commercial, la deuxième partie de la question posée perd tout intérêt pour l'application à l'espèce indiquée de la loi précitée.

Sur l'application de la loi sur la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre.

Le « Journal officiel » du 15 mars 1922 publie, page 794 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », les questions et les réponses suivantes :

12 301. — M. Peyroux, député, demande à M. le ministre des Finances si un contribuable, dont le bilan annuel va du 1^{er} avril au 31 mars de l'année suivante et qui est passible de la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre de l'année 1917, doit être imposé à l'impôt sur les bénéfices commerciaux et industriels d'après les résultats utilisés pour les bénéfices de guerre, c'est-à-dire le bénéfice net de la période 1^{er} janvier-31 décembre 1917 ou, comme on le fait dans certains départements, d'après les bénéfices de

l'exercice 1^{er} avril 1916-31 mars 1917, compte tenu de l'impôt sur les bénéfices de guerre. (Question du 7 février 1922.)

Réponse. — D'après l'article 2 de la loi du 31 juillet 1917, l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux dû par les contribuables imposables d'après leur bénéfice réel doit, lorsque l'exercice commercial des intéressés ne coïncide pas avec l'année civile, être établi chaque année d'après les bénéfices réalisés dans la période de douze mois dont les résultats ont servi à l'établissement du dernier bilan. Dès l'instant, par suite, qu'il clôture son exercice commercial au 31 mars, le contribuable visé dans la question qui, pour l'année 1918, est imposable d'après le montant de son bénéfice réel, doit être cotisé, pour ladite année, à l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux à raison des bénéfices qu'il a réalisés au cours de l'exercice ayant pris fin au 31 mars 1917, l'impôt ne portant d'ailleurs que sur la portion de ces bénéfices lui restant acquise après prélèvement de la contribution extraordinaire.

12 358. — M. Camille Chauteemps, député, expose à M. le ministre des Finances qu'un commerçant arrêtant ses bilans annuels au 31 mars a été imposé, en 1918, à la contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre pour la période du 1^{er} janvier 1917 au 31 décembre 1917, et demande si un contrôleur des contributions directes, contrairement aux prescriptions de l'instruction du 30 mars 1918, n° 29 à 31, est fondé, pour l'établissement des bénéfices commerciaux afférents à cette même année 1917, à ne pas tenir compte des bénéfices servant de base à la contribution sur les bénéfices de guerre, mais à utiliser seulement les résultats du bilan antérieur, arrêté au 31 mars 1917, comprenant la période du 31 mars 1916 au 31 mars 1917, frappant ainsi de l'impôt une période de seize mois antérieure à la loi du 31 juillet 1917. (Question du 9 février 1922.)

Réponse. — Conformément aux dispositions de l'article 4 de la loi du 31 juillet 1917, les commerçants passibles de la contribution sur les bénéfices de guerre doivent, pendant la période d'application de cette contribution, être assujettis à l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux d'après le montant de leur bénéfice réel. D'autre part, en vertu de l'article 2 de la même loi, lorsque leur exercice commercial ne coïncide pas avec l'année civile, les contribuables soumis à l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux d'après leur bénéfice réel sont obligatoirement cotisés, chaque année, d'après les bénéfices qu'ils ont réalisés pendant la période de douze mois dont les résultats ont été constatés par leur dernier bilan. C'est, dès lors, à juste titre que le contribuable visé dans la question a été assujetti à l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux, pour l'année 1918, d'après les bénéfices effectivement obtenus par lui au cours de la période s'étendant du 1^{er} avril 1916 au 31 mars 1917.

Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux : détaxe pour diminution du bénéfice imposé.

Le « Journal officiel » du 11 avril 1922 publie, page 1 474 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse suivantes :

12 517. — M. Paul Maulion, député, expose à M. le ministre des Finances le cas d'un entrepreneur qui travaille pour l'Etat dans les régions libérées et qui a été taxé, sur sa demande, à l'impôt cédulaire sur les bénéfices commerciaux en appliquant un coefficient de 8,50 pour 100. L'honorable député ajoute qu'au moment où cet entrepreneur a reçu l'avertissement l'invitant à payer, l'Etat, par suite de réductions importantes dans les décomptes qu'il a établis en fin de travaux, lui a enlevé tout son bénéfice, et il demande, en conséquence, si la réclamation aux fins de dégrèvement que l'intéressé a produite à la préfecture, dans les délais

prescrits, n'est pas suspensive de paiement. (Question du 16 février 1922.)

Réponse. — La présentation de la réclamation ci-dessus visée n'entraîne pas, par elle-même, le droit de surseoir au paiement de l'imposition contestée; mais s'il est reconnu que c'est par suite d'une erreur matérielle que le contribuable en cause a déclaré des bénéfices qu'il n'a pas, en fait, réalisés, l'intéressé obtiendra l'allocation en dégrèvement des sommes formant surtaxe à son préjudice.

Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux et de l'impôt sur le chiffre d'affaires aux sociétés coopératives.

Le « Journal officiel » du 11 avril 1922 publie, page 1474 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse suivantes :

12590. — M. Flayelle, député, demande à M. le ministre des Finances : 1° de faire connaître comment s'établit, au point de vue fiscal, la situation d'une société coopérative de consommation qui vend au public en même temps qu'aux sociétaires, mais qui, d'une part, en ce qui concerne les bonis faits sur les ventes aux sociétaires, les leur distribue en fin d'année ou les affecte en partie à un fonds de réserve impartageable, et qui, d'autre part, en ce qui concerne les bonis résultant de la vente au public, les verse à un fonds de réserve également impartageable; 2° si cette société ne peut soutenir, en vertu de l'article 15 de la loi du 31 juillet 1917 et de l'article 62 (alinéa final) de la loi du 25 juin 1920, qu'elle doit être exonérée en ce qui concerne les bonis faits sur la vente aux sociétaires. (Question du 21 février 1922.)

Réponse. — D'après l'article 15 de la loi du 31 juillet 1917, les sociétés coopératives de consommation ne peuvent être affranchies de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux que si elles remplissent, avant toute autre condition, celle de ne vendre qu'à leurs adhérents. Dès l'instant, par suite, qu'elle vend au public, la société visée dans la question se trouve dans le cas d'être assujettie à l'impôt sur le chiffre d'affaires; elle doit être soumise à l'impôt

« édulatoire à raison de l'ensemble de ses profits, et à l'impôt sur le chiffre d'affaires sur la totalité des ventes réalisées. exception faite seulement pour les deux impôts de la partie des bonis réalisés sur les ventes aux sociétaires qui leur est ristournée au prorata du montant de leurs achats.

Sur l'application de la contribution sur les bénéfices de guerre; détaxes pour exercices déficitaires.

Le « Journal officiel » du 11 avril 1922 publie, p. 1474, 1475 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse suivantes :

12792. — M. Maillard, député, demande à M. le ministre des Finances si un contribuable qui a obtenu une détaxe sur ses bénéfices de guerre, en raison d'exercices déficitaires, doit en faire état dans ses déclarations au titre des bénéfices industriels et commerciaux et de l'impôt général sur le revenu, compte tenu que cette détaxe ne constitue qu'une diminution de la perte des exercices déficitaires et que, même considérée comme bénéfice, elle ne paraît pouvoir être imputée qu'aux exercices antérieurs à l'exercice 1921, lequel doit seul donner lieu maintenant à une déclaration. (Question du 3 mars 1923.)

Réponse. — Lorsque, par suite de détaxe prononcée en vertu de l'article 16 de la loi du 1^{er} juillet 1916, le montant du prélèvement que l'Etat effectue, au titre de la contribution extraordinaire, sur le produit net d'une entreprise vient à être réduit, le bénéfice qui reste définitivement acquis à l'exploitant se trouve augmenté de la somme que représente la détaxe accordée. L'intéressé, qui n'a d'ailleurs à prendre l'initiative d'aucune déclaration à ce sujet, se trouve, dès lors, dans le cas de supporter, en ce qui touche l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux et, le cas échéant, l'impôt général sur le revenu, un supplément de droits dont il appartient à l'administration d'effectuer la répartition entre les exercices sur lesquels porte la détaxe, au prorata du montant de la contribution extraordinaire afférent à chacun de ces exercices.

ERRATA

Au sujet de l'article : « Essai d'une théorie générale des diagrammes vectoriels en électricité », par M. LÉON OTS-CHEVALIER paru dans les numéros « R. G. E. » des 22-29 avril et 6 mai 1922, t. XI, p. 563-578, 603-611, 643-656, faire les rectifications suivantes :

Pour restreindre le texte de ces errata, nous emploierons les abréviations suivantes : p, page; l, ligne; g, colonne de gauche; d, colonne de droite.

N° 16 du 22 avril 1922, p. 563-578 :

- p 566, l 33, d, lire Z''_{α} au lieu de : Z''_{α} .
- p 570, l 5, g, lire B_0 , B_2 au lieu de : $B_0 = B_2$.
- p 571, l 6, g, lire avec : $m = 3$ au lieu de avec $m = 3$.
- p 574, l 33, d, lire $\frac{z_0 + z_1 w}{z_0 + z_1 w} = \infty$ au lieu de : $\frac{z_0 + z_1 w}{z_0 + z_1 w}$.
- p 575, l 25, d, lire l_{∞} au lieu de : $0l_{\infty}$.
- p 576, l 19, d, lire Z au lieu de : Z' .
- p 576, l 21, d, lire $Z_1 Z_1$ au lieu de : $Z' Z_1$.

N° 17 du 29 avril 1922, p. 603-611.

- p 604, l 6, g, lire l_g au lieu de : l'_g .

- p 604, l 29, d, lire H_7 au lieu de : H .
- p 606, l 24, d, lire $f_8 \dots I_8$ au lieu de : $f \dots I$.
- p 607, l 1, g, lire f_8 au lieu de : f .
- p 607, l 4, g, lire I_{α} au lieu de : I_1 .
- p 607, l 9, g, lire $I_3 \mathcal{F}_3$ mesurera f_3 au lieu de : $I \mathcal{F}$ mesurera f .
- p 607, l 17, g, lire I_8 au lieu de : I .
- p 608, l 8, d, supprimer : pour lequel on a $Q =$
- p 609, l 24, d, lire F_3 au lieu de : F .
- p 610, l 3 et 4, g, remplacer par :

$$Kf_3 = \frac{|Z^0 + Z'\gamma + Z''\gamma^2|}{f^0 + f\gamma + f\gamma^2} \left[f_{\alpha} + \frac{E(\theta - \alpha)(\theta - \beta)(f^0 + f\theta + f\theta^2)}{z_0 (4)} \right]$$

$$= Kf_{\alpha} + (I_3 - I_{\alpha}) \left[\frac{|Z^0 + Z'\gamma + Z''\gamma^2|}{Z_0 + Z^0 + Z^0 \gamma^2} \right] \times \frac{f_0 + f\theta + f\theta^2}{f_0 + f\gamma + f\gamma^2}$$

- p 610, l 11, g, lire figure 5 au lieu de : figure 15.

N° 18 du 6 mai 1922, p. 643-656 :

- p 645, l 4, d, lire I_1 au lieu de : C_1 .
- p 648, l 34, g, lire de $s + r$ au lieu de : des $- r$.
- p 650, l 28, g, lire note (1) page 648.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR: J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 23.

10 JUIN 1922.

Chronique. — A propos de la « Revision de quelques lois de l'Electromagnétisme ». — Les prix Jean Barès en faveur des inventeurs. — Bibliographie: Précis d'électricité industrielle, les appareils à courant alternatif, par Maurice SOUBRIER, p. 849-850.

Section scientifique et technique. — Considérations sur la mesure de la puissance réactive des réseaux électriques, par J. YERNAUX, p. 851. — Revues, analyses et informations: Recherches récentes sur les anomalies des électrolytes forts, p. 858.

Section industrielle. — Un laboratoire d'essais à 500 000 v, par H. DE RAEMY, p. 861. — Un curieux cas d'électrocution, par A. TERPAIN, p. 864. — Remarque sur l'amarrage rationnel des lignes de transmission d'énergie à très haute tension, par P. PAIRARD, p. 867. — L'utilisation du combustible sur les chemins de fer. Sixième rapport de la Commission d'Utilisation du Combustible, p. 868. — Revues, analyses et informations: Quelques notes sur l'établissement des rhéostats liquides, p. 871; La capacité effective, la self-induction et la résistance des bobines, p. 874; Les essais au frein des turbines Kaplan de l'installation d'essais de turbines de la maison Storek, de Brünn, p. 876.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations: L'enseignement industriel en Algérie, p. 877.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation. — Les actions distribuées gratuitement doivent-elles être considérées comme un revenu? p. 879; Sur l'application de l'impôt sur les revenus des valeurs et capitaux mobiliers aux intérêts des dépôts des associés d'une société en nom collectif, p. 880; Sur la déclaration concernant l'impôt sur les traitements et salaires, p. 880; Sur la réglementation des tarifs de vente de l'énergie électrique, p. 880.

A propos de la « Revision de quelques lois de l'Electromagnétisme. — Nous recevons de M. A. Liénard, la lettre suivante, à ce sujet:

Voulez-vous me permettre de présenter, comme l'a déjà fait M. Bary, quelques observations sur la « Revision de quelques lois de l'Electromagnétisme » de M. Carl Hering dont la « R. G. E. » a publié un résumé le 15 avril dernier (t. XI, p. 532).

1. L'observation que les attractions ou répulsions entre courants s'exercent entre les conducteurs des courants et ne tendent pas à modifier la direction et la répartition du courant à l'intérieur des conducteurs est très importante, mais elle n'est pas nouvelle. Je la trouve indiquée très nettement dans la quatrième édition, revue par Bouty et parue en 1889, du « Cours de Physique » de Jamin (t. IV, 2^e partie, 3^e fasc., p. 71.) Je n'ai pas recherché si l'observation figurait ou non dans les éditions antérieures.

M. Hering a eu cependant le mérite de donner du fait signalé une nouvelle preuve expérimentale basée sur l'uniformité des dépôts électrolytiques.

2. Les trois formules connues

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad (1)$$

$$d\mathfrak{E} = i d\Phi, \quad (2)$$

$$d\mathfrak{E} = \frac{1}{2} i d\Phi, \quad (3)$$

sont applicables à des circuits de longueurs variables et à des corps se déformant d'une façon quelconque. La seule précaution à prendre pour obtenir, dans tous les cas, des

résultats conformes à l'expérience consiste à évaluer la variation de flux par rapport à un contour *formé toujours des mêmes molécules matérielles*. Le cas du contact glissant s'en déduit en imaginant entre les pièces glissantes M, N (fig. 1), une couche de passage très mince, collée par ses deux faces

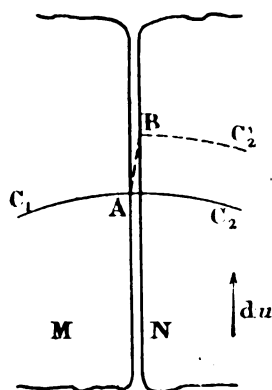


Fig. 1.

à M et N et laminée dans le glissement. Si, par exemple, la pièce N est seule mobile et que $C_1 AC_2$ soit le contour à travers lequel on évalue le flux au temps t , la nouvelle ligne qu'il faudra prendre pour évaluer le flux au temps $t + dt$ sera $C_1 ABC'_2$, la courbe C'_2 différant de C_2 par un déplacement du égal à celui subi pendant le temps dt par la pièce N.

En outre, il faut faire attention aux points suivants. Pour

la formule (1) qui représente la loi de l'induction, $d\Phi$ est, comme l'on sait, la variation totale de flux due, tant à la modification que le champ a subi pendant le temps dt qu'au changement de position du contour au travers lequel on évalue le flux.

Pour l'équation (2) qui concerne le travail des forces électromagnétiques agissant sur un courant que l'on déplace dans le champ produit par d'autres courants ou par des aimants, $d\Phi$ se rapporte uniquement au changement de forme du circuit, abstraction faite de toute modification du champ.

Enfin la relation (3) et la formule plus générale $d\mathcal{E} = \frac{1}{2} \sum i d\Phi$ se rapportent à l'action d'un courant sur

lui-même ou d'un système de courants sur lui-même. Dans ce cas, $d\Phi$ dépend à nouveau de la modification du champ pendant le temps dt et non pas seulement du changement de position du contour, en sorte que le nouveau champ à considérer à l'époque $t + dt$ n'est pas le champ réel, mais le champ qui existerait à cette époque si les intensités de courant n'avaient pas varié pendant le temps dt .

Et pour un corps qui se déforme, les intensités sont dites constantes si chaque élément de *surface matérielle* (c'est-à-dire constitué par les mêmes molécules) est traversé par un flux d'électricité constant dans l'unité de temps.

Toutes ces règles découlent directement des lois énoncées par Maxwell (voir en particulier, *Traité*, t. II, 4^e partie, ch. VI et VII). J'ai eu l'occasion de faire une application de ces règles au cas de la roue de Barlow (*C. R. A.*, 1902, t. CXXXIV, p. 163. Supprimer les 21 derniers mots de cette note). Elles permettent également d'expliquer tous les phénomènes signalés par M. Hering et je ne vois rien à changer aux lois de l'électromagnétisme.

Veuillez agréer, etc.

Les prix Jean Barès en faveur des inventeurs.

Dans le numéro « R. G. E. » du 19 mars 1921, p. 386, nous avons déjà signalé que M. Jean Barès, ex-directeur du « Réformiste », avait doté la Direction des Recherches scientifiques et industrielles d'une rente de 12 500 fr « pour attribution de deux prix annuels aux inventeurs français, pères d'au moins trois enfants, qui auront fait les découvertes les plus utiles à l'industrie française ».

Quelque temps après, M. Jean Barès ajoutait à sa donation deux nouveaux prix, de façon que la Direction disposât chaque année de 15 000 fr de rente pour récompenser et encourager les inventeurs et chercheurs français, pères de famille.

Un décret du président de la République, en date du 20 mars 1922 a autorisé le ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts à accepter ces magnifiques donations.

On ne saurait trop féliciter M. Jean Barès pour cette heureuse initiative qui est des plus précieuses pour susciter dans notre pays les recherches nouvelles susceptibles d'applications pratiques.

Dès l'annonce de ces prix, les propositions d'inventions affluèrent à la Direction des Recherches et Inventions de la part des inventeurs remplissant les conditions précisées par le donateur et, à la fin de 1921, date de la clôture du premier concours, la Direction, en plus des propositions dont elle était normalement saisie, se trouva en présence de quatre-vingt-six candidatures spécialement posées en vue des prix Jean Barès.

Chaque proposition fut examinée successivement par la Commission supérieure des Inventions, puis par le Comité

technique compétent de la Direction. Après une longue série d'études et d'essais, la réunion des présidents des comités techniques vient d'attribuer les quatre prix Barès de 1922.

Pour la première fois qu'était décerné le premier prix de 10 000 fr, il sembla nécessaire de trouver un inventeur d'une valeur exceptionnelle, dont l'œuvre considérable ne pouvait être contestée. L'unanimité se fit tout naturellement sur le nom de M. Maurice Leblanc, membre de l'Institut, père de huit enfants, véritable prototype de l'inventeur français, ingénieux, persévérant, ayant su créer par son intelligence une longue série d'inventions d'une grande importance nationale. Qu'il suffise ici de citer ses machines frigorifiques, sa pompe à air rotative, son éjecteur, son compresseur, et tout récemment ses robinets électriques, sans compter maintes autres inventions, toutes marquées de la plus grande hardiesse et de la plus totale nouveauté. De plus, M. Maurice Leblanc a, à maintes reprises, utilisé les bénéfices de ses inventions déjà acquises à la poursuite de nouvelles recherches dont certaines, telles que celles concernant l'amélioration de la vie de l'Européen aux colonies, ont une importance sociale de premier ordre.

M. Maurice Leblanc a été élu le premier par l'Académie des Sciences lorsqu'elle créa, en 1918, sa nouvelle section des applications de la science à l'industrie.

Le deuxième prix, de 2 500 fr, a été attribué à M. Marcel CURÉTIEN, père de trois enfants, en raison de ses travaux sur la photographie aérienne appliquée au relever de plans.

Le troisième prix, de 1 500 fr, a été décerné à M. Léon DEVILLERS, pharmacien, père de quatre enfants, pour ses travaux sur l'extraction de l'iode des algues marines, sans perdre les matières nutritives qu'elles contiennent.

Le quatrième prix, de 1 000 fr a été remis à M. Léon CHASSY, sous-chef de gare, père de cinq enfants, pour avoir imaginé un ingénieux dispositif de freinage des trains destiné à améliorer les conditions de travail des ouvriers de la voie et à diminuer le nombre des accidents.

D'autre part, la Direction des Recherches scientifiques et industrielles et des Inventions se propose d'organiser un concours d'appareils ménager, comportant 17 000 fr de prix. Nos lecteurs trouveront sous la rubrique « Concours » dans le « Bulletin » du prochain numéro « R. G. E. » quelques détails sur les conditions d'admission.

Bibliographie : Précis d'électricité industrielle. Les appareils à courant alternatif (1), par Maurice SOUBRIER, ancien élève de l'Ecole polytechnique. — Ce précis, formé par la réunion des leçons professées par l'auteur à l'Ecole supérieure de Mécanique, contient tous les éléments indispensables pour bien saisir le fonctionnement des machines à courant alternatif. Les développements mathématiques, limités à la partie strictement utile, sont suivis, notamment dans les premiers chapitres, d'applications très bien choisies qui sont, pour l'élève, d'une réelle utilité.

L'ouvrage traite d'abord des courants alternatifs en général : expression algébrique et représentation vectorielle, des fonctions périodiques, phénomène de résonance, etc.

Les autres parties sont consacrées à l'application de ces considérations à l'étude des machines et à leur emploi ; il y est fait une assez large application de la représentation vectorielle, ce qui apporte beaucoup de clarté aux explications.

Les générateurs à courant alternatif sont étudiés en premier lieu ; viennent ensuite la transformation et la distribution ; enfin les récepteurs à courant alternatif font l'objet de la dernière partie. — B. E.

(1) Un volume, format 21 cm x 14 cm, de 150 pages, 109 figures ; édité par Dunod, 47, quai des Grands-Augustins, Paris. Prix : broché, 10 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Considérations sur la mesure de la puissance réactive des réseaux électriques

Les notions de courants watté et déwatté, appliquées aux circuits électriques quelconques dont les tensions et les courants ne sont pas sinusoïdaux, permettent d'obtenir pour la puissance réactive totale une expression analogue à celle de la puissance active; mais, comme, par suite du manque d'appareils appropriés, on ne peut pas déterminer sa valeur par les mêmes procédés, il a paru intéressant à l'auteur de dégager les conditions spéciales dans lesquelles il y a lieu d'adopter les artifices fréquemment employés et ce en particulier dans le cas d'un circuit triphasé.

Etude générale du problème. — On sait que, lorsque la différence de potentiel d'alimentation et le courant d'un circuit monophasé donné varient sinusoïdalement, leurs vecteurs représentatifs \vec{E} et \vec{I} sont tels que, quel que soit l'instant considéré, leur intensité, leur vitesse angulaire et leur déphasage relatif sont invariables. La décomposition du vecteur \vec{I} dans la direction du vecteur \vec{E} et normalement à

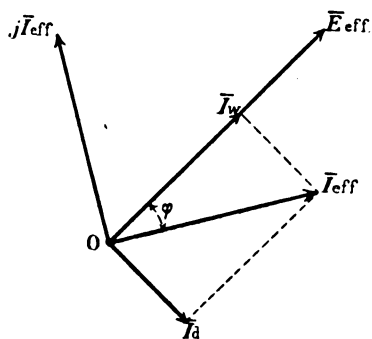


Fig. 1.

ce dernier (fig. 1) permet de calculer, d'une part, la puissance wattée

$$P_w = EI_w = EI \cos \varphi,$$

et, d'autre part, la puissance réactive

$$P_r = EI_d = EI \sin \varphi,$$

dont les expressions respectives traduites en langage vectoriel sont

$$P_w = \vec{E} \vec{I}, \quad P_r = \vec{E} (j \vec{I}).$$

En pratique, les différences de potentiel et les courants sont rarement sinusoïdaux, soit par suite de la présence d'harmoniques dans les tensions d'alimenta-

tion, soit par suite de phénomènes secondaires dus aux récepteurs; on rencontre même parfois des cas où des courants alternatifs se superposent à du courant continu. Dès lors, d'une manière générale, les vecteurs représentatifs \vec{E} et \vec{I} s'expriment par

$$\vec{E} = \sum \vec{E}_p, \quad \vec{I} = \sum \vec{I}_p.$$

(p) désignant l'ordre de l'harmonique.

Un cas concret facilitera l'exposé. Soient (fig. 2) \vec{E} et \vec{I} les deux vecteurs représentant respectivement la

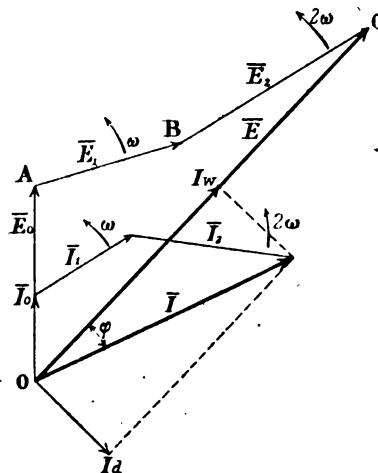


Fig. 2.

différence de potentiel et le courant d'un circuit monophasé et tels que leur décomposition en harmoniques s'effectue comme suit

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_1 + \vec{E}_2, \quad \vec{I} = \vec{I}_0 + \vec{I}_1 + \vec{I}_2.$$

Les vecteurs \vec{E}_0 (fixe), \vec{E}_1 (tournant à la vitesse angu-

laire ω autour du point A), \vec{E}_2 (tournant à la vitesse angulaire ω autour du point B) se composent en un vecteur résultant \vec{E} dont l'intensité et la vitesse angulaire varient à chaque instant. Il en est de même pour le vecteur \vec{I} . Quant au déphasage de vecteurs \vec{E} et \vec{I} , il varie également à chaque instant. Dans ces conditions, si on décompose le vecteur \vec{I} en des composantes actives et réactives instantanées, les puissances active et réactive moyennes, par période, ont pour expressions respectives

$$P_w = \frac{1}{T} \int_0^T \vec{E} \cdot \vec{I} dt, \quad P_r = \frac{1}{T} \int_0^T \vec{E} \cdot (j \vec{I}) dt,$$

L'application de ces expressions à la recherche des puissances active et réactive des réseaux quelconques est très commode. Soit un réseau quelconque alimenté aux points A, B, C... F par des tensions variant de manière absolument quelconque (fig. 3). Si $\vec{I}_A, \vec{I}_B, \dots, \vec{I}_F$ désignent les courants fournis par les lignes d'alimentation aux points A, B, ... F et si $\vec{i}_{AB}, \vec{i}_{BC}, \dots$ représentent les courants comptés des points d'alimentation vers les diverses branches d'utilisation, on a successivement

$$\begin{aligned} \vec{I}_A &= \sum \vec{i}_{AB}, \\ &\vdots \\ \vec{I}_F &= \sum \vec{i}_{FE}. \end{aligned}$$

Désignant ensuite par

$$(\vec{V}_A - \vec{V}_O), (\vec{V}_B - \vec{V}_O), \dots, (\vec{V}_F - \vec{V}_O)$$

les vecteurs représentant les différences de potentiel entre les points respectifs A, B... F et un point quelconque O, on peut écrire

$$\begin{aligned} (\vec{V}_A - \vec{V}_O) \vec{I}_A &= (\vec{V}_A - \vec{V}_O) \sum \vec{i}_{AB} \\ &\vdots \\ (\vec{V}_F - \vec{V}_O) \vec{I}_F &= (\vec{V}_F - \vec{V}_O) \sum \vec{i}_{FE}. \end{aligned}$$

En additionnant, on obtient

$$\begin{aligned} \sum_A^F (\vec{V}_A - \vec{V}_O) \vec{I}_A &= \sum_A^F [\vec{V}_A \sum \vec{i}_{AB}] \\ &\quad - \vec{V}_O [\sum \vec{i}_{AB} + \dots + \sum \vec{i}_{FE}]. \end{aligned}$$

Le facteur du vecteur \vec{V}_O étant nul, on a donc

$$\sum_A^F (\vec{V}_A - \vec{V}_O) \vec{I}_A = \sum_A^F [\vec{V}_A \sum \vec{i}_{AB}].$$

En groupant les termes du second membre par rapport aux courants partiels tels que \vec{i}_{AB} , on obtient

$$\begin{aligned} \sum_A^F (\vec{V}_A - \vec{V}_O) \vec{I}_A &= (\vec{V}_A - \vec{V}_B) \vec{i}_{AB} + (\vec{V}_B - \vec{V}_C) \vec{i}_{BC} \\ &\quad + (\vec{V}_C - \vec{V}_D) \vec{i}_{CD} + (\vec{V}_D - \vec{V}_E) \vec{i}_{DE} \\ &\quad + (\vec{V}_E - \vec{V}_F) \vec{i}_{EF} + \vec{V}_D \vec{i}_{DG} + \vec{V}_E \vec{i}_{EG} + \vec{V}_F \vec{i}_{FG}; \end{aligned}$$

mais, comme autour du point G on a

$$\vec{i}_{DG} + \vec{i}_{EG} + \vec{i}_{FG} = 0,$$

on peut écrire l'égalité immédiate

$$\begin{aligned} \vec{V}_D \vec{i}_{DG} + \vec{V}_E \vec{i}_{EG} + \vec{V}_F \vec{i}_{FG} &= (\vec{V}_D - \vec{V}_G) \vec{i}_{DG} \\ &\quad + (\vec{V}_E - \vec{V}_G) \vec{i}_{EG} + (\vec{V}_F - \vec{V}_G) \vec{i}_{FG}, \end{aligned}$$

qui permet d'écrire

$$\sum_A^F (\vec{V}_A - \vec{V}_O) \vec{I}_A = \sum (\vec{V}_A - \vec{V}_B) \vec{i}_{AB},$$

le second membre intéressant toutes les branches du réseau d'utilisation.

On obtient ensuite la relation

$$\sum_A^F \int_0^T (\vec{V}_A - \vec{V}_O) \vec{I}_A dt = \sum \int_0^T (\vec{V}_A - \vec{V}_B) \vec{i}_{AB} dt.$$

Comme le second membre exprime la valeur de l'énergie wattée totale absorbée par le réseau d'utilisation, cette dernière vaut donc

$$W_0^t = \sum_A^F \int_0^T (\vec{V}_A - \vec{V}_O) \vec{I}_A dt.$$

Dans l'hypothèse où les différences de potentiel et les courants seraient périodiques (période T), la puissance wattée totale vaudrait

$$P_w = \sum_A^F \frac{1}{T} \int_0^T (\vec{V}_A - \vec{V}_O) \vec{I}_A dt.$$

On aboutit ainsi à la proposition bien connue :

« On obtient la mesure, soit de l'énergie wattée, soit de la puissance wattée, en montant soit un compteur d'énergie wattée soit un wattmètre en série avec chaque ligne d'alimentation et en connectant les fils « tension » comme le montre la figure 3. »

Si on a soin d'adopter pour le point O l'un des points d'alimentation A, B... F, le compteur ou le wattmètre de la ligne qui y aboutit sera soumis à une différence de potentiel nulle et deviendra par conséquent inutile.

En ce qui concerne la puissance et l'énergie réactives, on obtiendra leurs expressions respectives par le même

mécanisme en utilisant le système des égalités initiales

$$\begin{aligned} (j \bar{I}_A) &= \sum_A (j \bar{I}_{AB}) \\ &\vdots \\ (j \bar{I}_F) &= \sum_F (j \bar{I}_{FE}). \end{aligned}$$

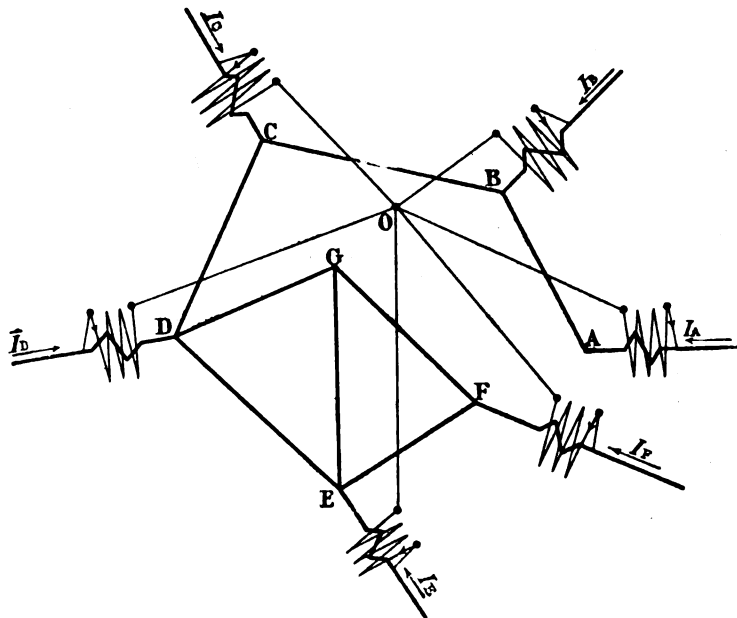


Fig. 3.

on aboutira ainsi aux expressions générales suivantes :
Énergie réactive

$$D_0^i = \sum_A^F \int_0^T (\bar{V}_A - \bar{V}_0) (j \bar{I}_A) dt.$$

et, dans l'hypothèse de différence de potentiel et de courants périodiques :

Puissance réactive

$$P_r = \sum_A^F \frac{1}{T} \int_0^T (\bar{V}_A - \bar{V}_0) (j \bar{I}_A) dt.$$

L'expression de la puissance réactive montre que, si on possédait des appareils construits pour mesurer directement la puissance réactive correspondant à une différence de potentiel $(\bar{V}_A - \bar{V}_0)$ et à un courant \bar{I}_A donnés, la puissance réactive totale d'un réseau quelconque serait mesurable à l'aide d'un montage identique à celui utilisé pour la mesure de la puissance wattée. Il en serait de même pour la mesure de l'énergie réactive.

Jusqu'à présent, faute d'appareils de ce genre, on est forcé d'user d'artifices spéciaux auxquels il ne convient d'accorder crédit que dans des hypothèses parti-

culières quant à la nature et aux grandeurs relatives des tensions et des courants en jeu.

Différents procédés pratiques. — L'examen de quelques procédés usités pour la mesure de la puissance réactive des circuits triphasés précisera la portée de la remarque ci-dessus et permettra de reconnaître les conditions particulières dans lesquelles il y a lieu de les accepter. Dans le cas général de l'alimentation en courants triphasés d'un réseau quelconque (équilibré ou non) en trois points donnés A, B, C, les différences de potentiel appliquées étant périodiques, la puissance réactive vaut

$$\begin{aligned} P_r &= \frac{1}{T} \int_0^T (\bar{V}_A - \bar{V}_C) (j \bar{I}_A) dt \\ &+ \frac{1}{T} \int_0^T (\bar{V}_B - \bar{V}_C) (j \bar{I}_B) dt, \end{aligned}$$

expression équivalente à

$$\begin{aligned} P_r &= \frac{1}{T} \int_0^T [-j (\bar{V}_A - \bar{V}_C)] \bar{I}_A dt \\ &+ \frac{1}{T} \int_0^T [-j (\bar{V}_B - \bar{V}_C)] \bar{I}_B dt. \end{aligned}$$

On voit ainsi que, pour obtenir la valeur de la puissance réactive du réseau triphasé, il suffit d'alimenter deux wattmètres par les courants de ligne \bar{I}_A et \bar{I}_B et de soumettre leurs bobines « tension », respectives aux différences de potentiel

$$[-j (\bar{V}_A - \bar{V}_C)] \quad \text{et} \quad [-j (\bar{V}_B - \bar{V}_C)].$$

Dans ces conditions les bobines « tension » des wattmètres seront le siège de courants d'intensités proportionnelles aux différences de potentiel respectives

$$(\bar{V}_A - \bar{V}_C) \quad \text{et} \quad (\bar{V}_B - \bar{V}_C)$$

et déphasés en arrière d'un angle $\frac{\pi}{2}$ sur ces dernières.

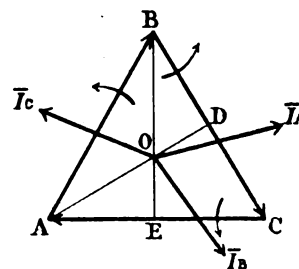


Fig. 4.

Soient d'une manière générale, \bar{AB} , \bar{BC} , \bar{CA} , \bar{I}_A , \bar{I}_B , \bar{I}_C , les vecteurs qui, à l'instant t , représentent les

différences de potentiel d'alimentation et les courants de ligne du réseau ; au cours des études qui vont suivre ces vecteurs seront toujours supposés tourner dans le sens conventionnel (de la droite vers la gauche).

PREMIER CAS. — Les différences de potentiel d'alimentation, sinusoïdales ou non, sont composées identiquement au point de vue des harmoniques et le circuit d'utilisation est quelconque (équilibré ou non). Dans ces conditions, on a (fig. 4) à chaque instant : $AB = BC = CA$ et, si BE et AD désignent les médianes issues des sommets B et A , on conclut aisément aux égalités

$$[-j(\overline{V_A} - \overline{V_C})] = (-j\overline{AC}) = \frac{2}{3}\sqrt{3}\overline{BE} = \overline{BO}\sqrt{3},$$

$$[-j(\overline{V_B} - \overline{V_C})] = (-j\overline{BC}) = \frac{2}{3}\sqrt{3}\overline{DA} = \overline{OA}\sqrt{3}.$$

La puissance réactive peut donc s'exprimer des deux manières ci-dessous

$$P_r = \frac{2}{3}\sqrt{3} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \overline{BE} \overline{I_A} dt + \frac{1}{T} \int_0^T \overline{DA} \overline{I_B} dt \right],$$

$$P_r = \sqrt{3} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \overline{BO} \overline{I_A} dt + \frac{1}{T} \int_0^T \overline{OA} \overline{I_B} dt \right],$$

La première expression est obtenue à l'aide du montage représenté figure 5. Une autotransformateur de

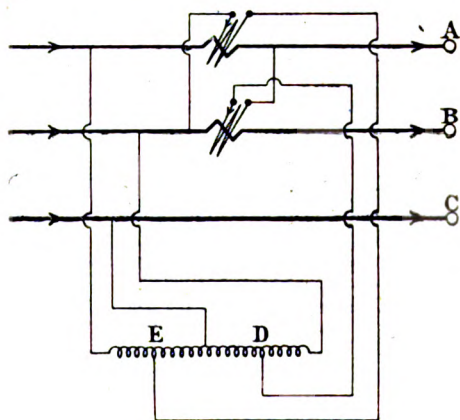


Fig. 5.

très grande réactance et de faible résistance ohmique dans lequel les points E et D sont situés au milieu des tronçons alimentés par les tensions AC et CB , permet de réaliser les différences de potentiel nécessaires : savoir, BE et DA . Si on désigne par W_1 et W_2 les puissances apparentes aux deux wattmètres, on aura

$$P_r = \frac{2}{3}\sqrt{3} [W_1 + W_2] = 1,1547 [W_1 + W_2].$$

Quant à la seconde expression, il est aisé de vérifier que le montage de la figure 6 permet de la mesurer

lorsque le point O est un point neutre, c'est-à-dire lorsque les résistances des circuits des fils « tension » des wattmètres comptées depuis la ligne d'alimentation jusqu'au point O sont égales à la résistance ohmique de la bobine sans self-induction b . Si, dès lors, W_1 et

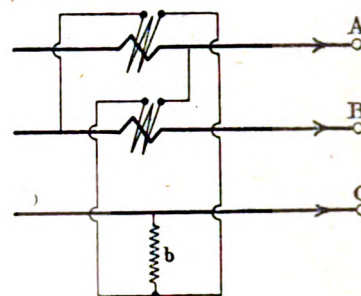


Fig. 6.

W_2 désignent les puissances apparentes ainsi obtenues, on a

$$P_r = \sqrt{3} (W_1 + W_2) = 1,7321 (W_1 + W_2).$$

Remarque. — Si les phases ne se succédaient pas, dans le temps, suivant l'ordre supposé $AB-BC-CA$, mais dans l'ordre $BC-AB-CA$ (ce qui aurait lieu à la suite de l'inversion de deux câbles d'alimentation), les vecteurs $(\overline{BE}, \overline{BO})$, d'une part, et $(\overline{OA}, \overline{DA})$, d'autre part, seraient déphasés de 90° en avance sur les vecteurs respectifs \overline{AC} et \overline{BC} . Ils représenteraient donc les quantités respectives $j(\overline{V_A} - \overline{V_C})$ et $j(\overline{V_B} - \overline{V_C})$ et on aurait ainsi

(dans le cas de la figure 5)

$$P_r = -1,1547 (W_1 + W_2);$$

(dans le cas de la figure 6)

$$P_r = -1,7321 (W_1 + W_2).$$

DEUXIÈME CAS. — Les différences de potentiel d'alimentation, sinusoïdales ou non, sont composées identiquement au point de vue des harmoniques et le circuit d'utilisation est équilibré.

Le circuit d'utilisation étant supposé équilibré, quelle que soit la nature des récepteurs, les courants de ligne se composeront des mêmes harmoniques et, à chaque instant, leurs vecteurs représentatifs $\overline{I_A}$, $\overline{I_B}$, $\overline{I_C}$ seront égaux en intensité et invariablement déphasés entre eux d'un angle $\frac{2\pi}{3}$. Il y a lieu d'observer que, en général, ces vecteurs « courant » ne seront pas invariablement déphasés sur les vecteurs « tension de ligne ».

D'après ce qui précède, la puissance réactive vaut

$$P_r = \sqrt{3} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \overline{BO} \overline{I_A} dt + \frac{1}{T} \int_0^T \overline{OA} \overline{I_B} dt \right];$$

or on a

$$\overline{BO} = \overline{BA} + \overline{AC} + \overline{CO} \quad \text{et} \quad \overline{OA} = \overline{OC} + \overline{CB} + \overline{BA};$$

après groupement convenable, on peut écrire

$$P = \sqrt{3} \times \frac{1}{T} \int_0^T [\overline{BA} (\overline{I_A} + \overline{I_B}) + \overline{AC} \overline{I_A} + \overline{CB} \overline{I_B} + \overline{CO} (\overline{I_A} - \overline{I_B})] dt.$$

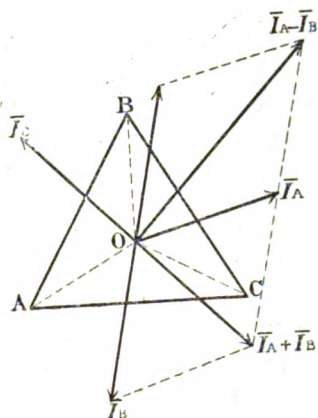


Fig. 7.

En construisant les vecteurs

$$\overline{I_A} + \overline{I_B} \quad \text{et} \quad \overline{I_A} - \overline{I_B},$$

il est aisé de vérifier que l'on a la relation

$$\overline{I_A} - \overline{I_B} = \sqrt{3} [j (\overline{I_A} + \overline{I_B})],$$

et comme, d'autre part,

$$\overline{CO} = \frac{1}{\sqrt{3}} (-j \overline{BA}),$$

il vient successivement

$$\overline{CO} [\overline{I_A} - \overline{I_B}] = (-j \overline{BA}) [j (\overline{I_A} + \overline{I_B})] = -\overline{BA} (\overline{I_A} + \overline{I_B}),$$

cette relation permet d'écrire, enfin,

$$P_r = \sqrt{3} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \overline{AC} \overline{I_A} dt + \frac{1}{T} \int_0^T \overline{CB} \overline{I_B} dt \right],$$

La réalisation de la mesure de cette quantité a lieu conformément au schéma donné figure 8. Si W_1 et W_2 désignent les puissances apparentes indiquées par les wattmètres, on a

$$P_r = \sqrt{3} (W_1 + W_2) = 1,7321 (W_1 + W_2).$$

On remarquera utilement que ce montage ne diffère du montage pour la mesure de la puissance wattée que par le fait de l'inversion de l'alimentation de la bobine « tension » du wattmètre placé sur la ligne B. Il est aisé de s'assurer, en outre, que, si les phases se suc-

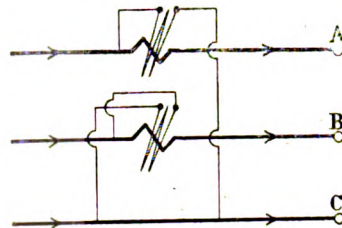


Fig. 8.

cèdent dans un ordre inverse de celui supposé, la puissance réactive vaudra

$$P_r = -1,7321 [W_1 + W_2].$$

TROISIÈME CAS. — Les différences de potentiel sont sinusoïdales et égales et le circuit d'utilisation est quelconque.

La puissance réactive vaut

$$P_r = \frac{2\sqrt{3}}{3} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \overline{BE} \overline{I_A} dt + \frac{1}{T} \int_0^T \overline{DA} \overline{I_B} dt \right],$$

et sa mesure pourrait s'obtenir à l'aide de deux wattmètres alimentés, d'une part, par les courants $\overline{I_A}$ et $\overline{I_B}$ et, d'autre part, par les différences de potentiel \overline{BE} et \overline{DA} . Ces dernières créeraient dans les bobines « tension » des wattmètres des courants en phase avec elles,

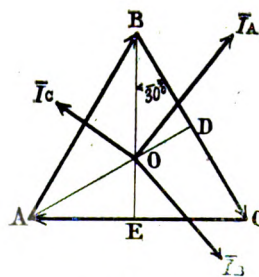


Fig. 9.

Les différences de potentiel d'alimentation étant sinusoïdales cette circonstance particulière de coïncidence de phase des différences de potentiel \overline{BE} et \overline{DA} et des courants des fils « tension » des wattmètres peut être réalisée en insérant des bobines d'inductance convenables dans les circuits « tension » de manière à y provoquer un déphasage en arrière de 30° et en alimentant ces circuits par les différences de potentiel respectives \overline{BC} et \overline{BA} . En effet, si i_1 désigne le courant du

circuit « tension » alimenté par la différence de potentiel \overline{BE} , si R représente la résistance ohmique du fil « tension » du wattmètre et si r et L sont les constantes électriques de la bobine de self-induction, on a la relation immédiate

$$\overline{BE} = (R + r) \bar{i}_1.$$

La différence de potentiel appliquée au fil « tension » du wattmètre vaut $R \bar{i}_1$, c'est-à-dire

$$\frac{R}{R + r} \overline{BE}.$$

Les wattmètres, supposés identiques, accuseront donc les puissances apparentes respectives

$$W_1 = \frac{R}{R + r} \times \frac{1}{T} \int_0^T \overline{BE} \bar{I}_A dt,$$

$$W_2 = \frac{R}{R + r} \times \frac{1}{T} \int_0^T \overline{DA} \bar{I}_B dt.$$

Ces expressions permettent d'écrire

$$P_r = \frac{2\sqrt{3}}{3} \times \frac{R + r}{R} [W_1 + W_2].$$

Au cas où les wattmètres ne seraient pas identiques, la condition du déphasage étant réalisée pour chacun d'eux, on aurait

$$P_r = \frac{2\sqrt{3}}{3} \left[\frac{R_1 + r_1}{R_1} W_1 + \frac{R_2 + r_2}{R_2} W_2 \right].$$

Le montage donnant les quantités W_1 et W_2 est représenté figure 10,

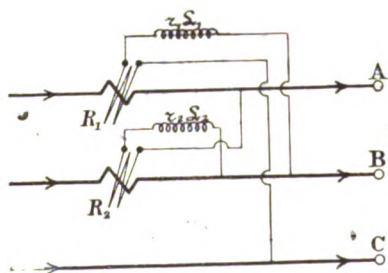


Fig. 10.

On remarquera que des valeurs données de R , r , L , telles que

$$\frac{2\pi fL}{R + r} = \tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3},$$

ne permettent la mesure de la puissance réactive que pour une fréquence donnée.

Enfin, si l'ordre de succession des phases était

inversé, les différences de potentiel \overline{BC} et \overline{BA} ne créeraient plus des courants en phase avec les différences de potentiel respectives \overline{BE} et \overline{DA} , mais des courants déphasés d'un angle de 60° en arrière : les puissances apparentes W_1 et W_2 ne donneraient plus la possibilité de la mesure de la puissance réactive P_r .

QUATRIÈME CAS. — Les différences de potentiel sont sinusoïdales, mais inégales, et le circuit d'utilisation est quelconque.

On sait que d'une manière générale on a

$$P_r = \frac{1}{T} \int_0^T (-j \overline{AC}) \bar{I}_A dt + \frac{1}{T} \int_0^T (-j \overline{BC}) \bar{I}_B dt,$$

et

$$P_w = \frac{1}{T} \int_0^T \overline{AC} \bar{I}_A dt + \frac{1}{T} \int_0^T \overline{BC} \bar{I}_B dt.$$

La seconde expression étant mesurable dans tous les cas, on déterminerait la valeur de la puissance réactive P_r si, par un artifice approprié, on parvenait à mesurer une puissance apparente dont l'expression serait de la forme

$$P = \alpha P_w + \beta P_r,$$

et dont l'expression serait

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T [\alpha \overline{AC} + \beta (-j \overline{AC})] \bar{I}_A dt + \frac{1}{T} \int_0^T [\alpha \overline{BC} + \beta (-j \overline{BC})] \bar{I}_B dt.$$

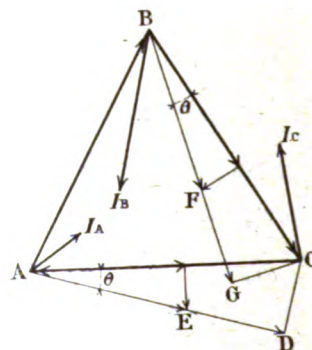


Fig. 11.

Si, comme l'indique la figure 11, on construit les différences de potentiel

$$\overline{AE} = \alpha \overline{AC} + \beta (-j \overline{AC})$$

et

$$\overline{BF} = \alpha \overline{BC} + \beta (-j \overline{BC}),$$

on aura

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \overline{AE} \bar{I}_A dt + \frac{1}{T} \int_0^T \overline{BF} \bar{I}_B dt.$$

La puissance P serait donc mesurée à l'aide de deux wattmètres en série avec les lignes d'alimentation A et B et alimentés à leur circuit « tension » par les différences de potentiel respectives \overline{AE} et \overline{BF} déphasées par rapport aux différences de potentiel respectives \overline{AC} et \overline{BC} d'un angle θ en arrière tel que

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\beta}{\alpha}.$$

Les courants des fils « tension », en phase avec les différences de potentiel \overline{AE} et \overline{BF} , seraient donc déphasés en arrière d'un angle θ sur les différences de potentiel respectives \overline{AC} et \overline{BC} .

L'artifice de la bobine de self-induction en série avec le fil « tension » des wattmètres permettrait d'obtenir ce déphasage, si les circuits « tension » étaient organisés de manière à donner le déphasage θ en arrière et si ils étaient alimentés par les différences de potentiel respectives \overline{AC} et \overline{BC} .

En conservant pour R , r et L les désignations admises précédemment, on obtiendrait ainsi les puissances apparentes

$$W_1 = \frac{R}{R+r} \times \frac{1}{T} \int_0^T \overline{AD} \overline{I_A} dt,$$

$$W_2 = \frac{R}{R+r} \times \frac{1}{T} \int_0^T \overline{BG} \overline{I_B} dt,$$

or

$$\overline{AD} = \frac{\overline{AD}}{\overline{AE}} \overline{AE} = \frac{\cos^2 \theta}{\alpha} \overline{AE} = \frac{\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} \overline{AE},$$

et

$$\overline{BG} = \frac{\overline{BG}}{\overline{BF}} \overline{BF} = \frac{\cos^2 \theta}{\alpha} \overline{BF} = \frac{\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} \overline{BF}.$$

Les expressions de W_1 et W_2 deviendraient donc

$$W_1 = \frac{R}{R+r} \times \frac{\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} \times \frac{1}{T} \int_0^T \overline{AE} \overline{I_A} dt,$$

$$W_2 = \frac{R}{R+r} \times \frac{\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} \times \frac{1}{T} \int_0^T \overline{BF} \overline{I_B} dt;$$

ce qui permettrait d'écrire

$$P = \frac{R+r}{R} \times \frac{\alpha^2 + \beta^2}{\alpha} (W_1 + W_2).$$

Comme, d'autre part,

$$P = \alpha P_w + \beta P_r,$$

si on désigne par W'_1 et W'_2 les puissances apparentes qui donnent la valeur de la puissance wattée, on calculerait la puissance réactive comme suit

$$P_r = \frac{P}{\beta} - \frac{\alpha}{\beta} P_w;$$

d'où

$$P_r = \frac{R+r}{R} \times \frac{\alpha^2 + \beta^2}{\alpha \beta} [W_1 + W_2] - \frac{\alpha}{\beta} [W'_1 + W'_2].$$

En tenant compte de la relation

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\beta}{\alpha},$$

on obtiendrait

$$P_r = \frac{R+r}{R} \times \frac{1}{\sin \theta \cos \theta} (W_1 + W_2) - \cotg \theta (W'_1 + W'_2).$$

Le montage de la figure 12 permet, par une simple

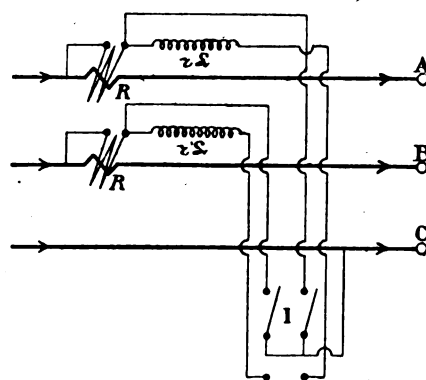


Fig. 12.

manœuvre du commutateur I, d'obtenir les valeurs des puissances apparentes W_1 , W_2 , W'_1 , W'_2 .

Il est aisé d'étendre ce procédé au cas d'un réseau polyphasé quelconque alimenté par des différences de potentiel sinusoïdales. L'examen de la figure 11 montre clairement que l'ordre de succession des phases n'influence pas les résultats de la mesure.

REMARQUES GÉNÉRALES. — 1° Tout ce qui vient d'être exposé s'applique à la mesure de l'énergie réactive.

2° Il résulte de ce qui précède que, à l'exception du montage préconisé pour le cas n° 4, figure 12, il est indispensable de rechercher l'ordre de succession des phases. A cette fin, on peut utiliser un oscillographe, un ondographe ou un petit moteur asynchrone dont on aurait repéré d'avance le sens de rotation pour un mode de succession des phases.

A défaut de ces appareils, on peut faire usage d'un wattmètre dont la bobine « tension » serait connectée en série avec une bobine de self-induction provoquant, pour la fréquence donnée, un déphasage de 30° en arrière. En effet, soit à déterminer (fig. 13) la phase de la différence de potentiel \overline{AB} par rapport à la différence de potentiel \overline{AC} . Si, conformément à la figure 14, on applique la différence de potentiel \overline{AB} à une résistance sans self-induction ρ (lampes...) en série avec la bobine « courant » du wattmètre et si, en outre, on alimente

le circuit « tension » de ce dernier par la différence de potentiel \overline{AC} , la puissance apparente accusée au wattmètre vaudra

$$W_1 = \frac{R}{R+r} \times \frac{1}{T} \int_0^T \overline{AD} \frac{\overline{AB}}{\rho} dt = 0,$$

lorsque la différence de potentiel \overline{AB} sera en avance sur la différence de potentiel \overline{AC} et

$$W_2 = \frac{R}{R+r} \times \frac{1}{T} \int_0^T \overline{AE} \frac{\overline{AB}}{\rho} dt,$$

lorsque la différence de potentiel \overline{AB} sera en retard sur la différence de potentiel \overline{AC} .

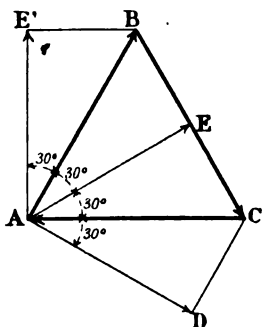


Fig. 13.

Or, si, dans les deux hypothèses de phase relative des différences de potentiel \overline{AB} et \overline{AC} , on alimente le circuit « tension » par la différence de potentiel \overline{AB} , on obtiendra, d'une part,

$$W'_1 = \frac{R}{R+r} \times \frac{1}{T} \int_0^T \overline{AE} \frac{\overline{AB}}{\rho} dt;$$

d'autre part,

$$W'_2 = \frac{R}{R+r} \times \frac{1}{T} \int_0^T \overline{AE} \frac{\overline{AB}}{\rho} dt.$$

Il est aisé de vérifier que ces deux expressions sont équivalentes à l'expression de la puissance W_2 trouvée ci-dessus. On peut donc formuler la règle suivante :

« Si on établit le circuit « tension » d'un wattmètre de manière à y déphaser le courant de 30° en arrière

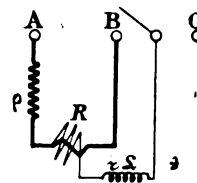


Fig. 14.

sur la différence de potentiel appliquée ; si, ensuite, on alimente la bobine « intensité » par un courant en phase avec l'une des différences de potentiel, \overline{AB} par exemple, et si, successivement, on soumet le circuit « tension » aux différences de potentiel \overline{AB} et \overline{AC} , la différence de potentiel \overline{AB} sera en avance sur la différence de potentiel \overline{AC} lorsque la puissance accusée sous la différence de potentiel \overline{AC} sera nulle. Elle sera, au contraire, en retard sur la différence de potentiel \overline{AC} lorsque les puissances obtenues dans les deux cas seront égales.

J. YERNAUX,
Professeur d'Électricité générale
à l'Ecole des Mines et de Métallurgie. Mons (Belgique.)

Revue, analyses et informations

Recherches récentes sur les anomalies des électrolytes forts ⁽¹⁾.

Cette étude est un exposé d'ensemble résumant les travaux effectués jusqu'en 1920-1921 ; une bibliographie comprenant 105 mémoires est imprimée en tête. Le travail lui-même étant déjà un résumé, nous indiquons seulement les points les plus importants.

La première partie comprend l'exposé des anomalies rangées en trois grandes classes.

1. — Le degré de dissociation α règle la concentration des ions, c'est-à-dire détermine l'importance des propriétés ioniques, additives en solution infiniment étendue (pression osmotique, conductibilité etc...). α peut être calculé en partant

(1) L. EBERT. *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik*, 1921, t. XVIII, p. 134-196, 26 000 mots.

de chacune de ces propriétés, mais les différents procédés ne donnent pas la même valeur de α .

Exemples. — A). La conductibilité conduit à une valeur de α par la formule

$$\frac{\mu_v}{\mu_\infty} = \alpha; \quad (1)$$

tandis que la pression osmotique donne pour son expression

$$\alpha = \frac{i - 1}{n - 1}. \quad (2)$$

Les deux formules devraient donner la même valeur de α pour une même concentration. Pour les types d'électrolytes pouvant se ranger sous les formules générales



il y coïncidence à 2 pour 100 près jusqu'à une concentra-

tion c presque nulle, 1 mol : litre. Pour les types se rangeant sous les formes



il y a de grosses différences même pour de faibles concentrations (Noyes et Falk).

B). On peut montrer directement l'inexactitude de (1) en comparant deux sels ayant un ion commun (Lewis). Soient



les conductibilités μ_1 et μ_2 de ces sels ont pour expression

$$\mu_1 = \kappa_1 (u_1 + v), \quad \mu_2 = \kappa_2 (u_2 + v).$$

v étant la mobilité de l'ion Cl^- .

Nous pouvons en déduire le rapport

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \frac{u_1 + v}{u_2 + v} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \frac{n_1}{n_2},$$

où n_1 et n_2 sont les nombres de transport de l'ion Cl^- . On trouve par cette méthode

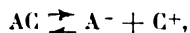
$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = 0,996.$$

alors que

$$\left(\frac{v}{\mu_\infty} \right)_{HCl} = \frac{0,915}{0,860} = 1,076.$$

Il y a divergence encore plus grande pour $LiCl$ pour lequel on obtient les valeurs 0,992 et 1,110.

II — A). Les réactions d'ions font intervenir la « masse active », si l'on applique la loi d'action de masses à la dissociation



en supposant que la masse active est exprimée par le même nombre que la concentration, on obtient la loi de dilution $\alpha = f(c)$ (Ostwald). Si V est le volume dans lequel on dissout une molécule de l'électrolyte étudié, cette loi s'exprime par

$$\frac{\alpha^2}{(1-\alpha)V} = K, \quad (3)$$

qui devient, en admettant l'exactitude de la formule (1)

$$\frac{\mu_v^2}{\mu_\infty(\mu_\infty - \mu_v)} = K, \quad (4)$$

Cette valeur K ainsi calculée est constante dans un domaine plus ou moins étendu pour les acides et bases faibles. Mais on fait les remarques suivantes : 1° la valeur de K n'est pas la même si on remplace dans (3) α par le nombre obtenu électrométriquement (Schreiner obtient 33 pour 100 en plus pour $C_2H_3O_2$); 2° pour les électrolytes forts, K augmente avec c ; on serait conduit à remplacer $\frac{\mu_v}{\mu_\infty}$ par une quantité plus faible pour conserver K constant.

On a toutefois signalé dans ce domaine une régularité intéressante : $\mu_v = \mu_\infty - d_v$, où d_v est le même (à même concentration) pour des sels du même type (Bredig-Walden).

B) La loi d'action de masses intervient aussi dans les équilibres hétérogènes. Dans une solution saturée d'un sel peu soluble, elle indique : 1° la constance du produit $c'c''$ des concentrations des ions quand on ajoute un sel à ion commun; 2° la constance de c_0 (concentration du sel non dissocié) pour une addition d'ions différents. Ici encore les électrolytes

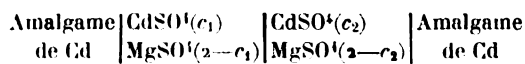
forts donnent des résultats anormaux; $c'c''$ augmente (Harkins et Noyes); ces anomalies sont d'ailleurs fonction de la concentration totale en ions.

C). Des anomalies apparaissent aussi dans les mesures d'énergie libre ou affinité. Si l'on se trouve dans les conditions telles que les lois des gaz soient applicables, l'affinité est égale au quotient des produits de solubilité. Le fait se vérifie pour la transformation : aragonite \rightarrow calcite; au contraire la valeur obtenue pour la transformation : tartrate de potassium \rightarrow racémate de potassium n'est plus exacte. On ne retrouve la valeur exacte que si on utilise les solubilités dans KCl concentré (Brönsted).

De même les mesures de force électromotrice d'une pile de concentration donnent l'énergie libre de la transformation qui fait passer un ion-gr de la concentration c_1 à c_2 ;

c'est $k \log \frac{c_1}{c_2}$. Si on utilise la formule (1), la force électromotrice mesurée est plus petite que la valeur que l'on calcule, la différence dépendant de la concentration. Ici encore, dans une solution de sel étranger telle que la concentration totale soit la même des deux côtés, on peut calculer la force électromotrice E par le rapport des concentrations brutes de la substance active (Brönsted).

C'est ce que l'on vérifie par exemple avec l'élément :



$$\text{dans lequel } \frac{1}{10} > c_1 > \frac{1}{120} \quad \quad \frac{1}{20} > c_2 > \frac{1}{640}$$

III. — Certaines propriétés des solutions, attribuables nettement aux ions, sont indépendantes de la concentration (propriétés du premier ordre).

Exemples. — A). Dans les mesures précédentes, le coefficient d'activité des ions (dont la signification est donnée plus loin) est indépendant de la concentration.

B). D'après Ostwald, la couleur des électrolytes serait une propriété des ions, or les expériences de Kayser, Hantzsch, etc., établissent la constance de l'absorption moléculaire; elle serait ainsi propriété de premier ordre.

C) Les ions ont des propriétés catalytiques (saponification, inversion du sucre, etc.). La vitesse des réactions ainsi accélérées serait proportionnelle à α (mesuré par conductibilité, force électromotrice, etc.). La proportionnalité ne s'observe cependant qu'en solutions étendues; en solutions concentrées, la vitesse augmente plus vite. Des mesures de Sneath relatives à HCl dans CH_3CO établissent que, pour une concentration comprise entre 0,1 et 0,01 l'effet catalytique d'une molécule d'acide est constant; les valeurs correspondantes de α sont alors :

$$\alpha_{0,1} = 0,60; \quad \alpha_{0,01} = 0,80.$$

La deuxième partie est consacrée à l'étude de l'hypothèse de la dissociation complète des électrolytes forts et de l'intervention des forces électriques interioniques (Milner, Hertz et surtout Bjerrum). — Les électrolytes forts se rangent ainsi à part; l'existence de propriétés du premier ordre (d'ailleurs mal étudiées) amène à l'idée d'une dissociation totale.

Les propriétés de l'électrolyte qui varient avec la concentration (propriété du deuxième ordre) ne pourront être expliquées que si on admet une hypothèse supplémentaire : l'efficacité des forces électriques entre ions.

Ces forces dépendront alors 1° des charges (valence), de la constante diélectrique du solvant, de la distance des ions,

cette distance étant d'ailleurs proportionnelle à $\frac{1}{\sqrt{c}}$, c représentant la concentration totale en ions. Elles interviendront même pour les électrolytes faibles, la dissociation étant, de plus, variable dans ce cas. Elles seront importantes dans les solutions concentrées où les distances entre les ions sont faibles et deviendront prépondérantes pour une concentra-

tion suffisante; on s'explique que la variation du nombre d'ions par molécule devienne sans influence (?) Ces forces interviendront dans tous les cas où il y aura mouvement des ions, conductibilité, etc.

La variation de la conductibilité équivalente λ avec la dilution devra, si les forces ne dépendent que des charges, être la même pour des sels de même type: c'est la règle de Walden. De plus, les anomalies provenant de l'existence de ces forces croîtront avec la concentration.

Etant donnée une propriété du deuxième ordre, on est amené à définir un coefficient qui est le rapport de la valeur observée réellement à celle qu'on observerait en l'absence des forces interioniques. Ces coefficients seront par exemple

$$\begin{aligned} f_0, & \text{ le coefficient osmotique,} \\ f_\mu, & \text{ le coefficient de conductibilité,} \\ f_a, & \text{ le coefficient d'activité.} \end{aligned}$$

Ils sont tous plus petits que 1 et tendent vers 1 pour $c = 0$. Nous allons voir qu'ils sont fonctions de $\sqrt[3]{c}$.

Coefficients f_0 et f_μ . — Les attractions diminuent la mobilité, c'est-à-dire la pression osmotique. Milner, Ghosh et Klein calculent théoriquement f_0 et obtiennent la valeur

$$f_0 = 1 - k \sqrt[3]{c}$$

où k renferme la constante diélectrique ϵ du solvant. Expérimentalement on trouve, i étant le facteur de Vant'Hoff

$$f_0 = \frac{P}{nP_0} = \frac{i}{n};$$

la formule de Kohlrausch

$$\mu_v = \alpha (u + v) \quad \text{donne} \quad \alpha = \frac{\mu_v}{\mu_\infty}$$

à condition de supposer les mobilités constantes. Si $\alpha = 1$, pour que $\mu_v < \mu_\infty$, il faut que les mobilités diminuent quand la concentration augmente. P. Hertz a calculé f_μ et des vérifications intéressantes de ses formules sont dues à R. Lorenz qui mesure $v = F(c)$ pour MnO^{++} , ClO^{--} , etc.

De même, l'expérience permet de calculer

$$f_\mu = \frac{\mu_v}{\mu_\infty};$$

il semble utile de faire la correction de viscosité et de poser

$$f_\mu = \frac{\mu_v}{\mu_\infty} \cdot \frac{\eta_v}{\eta_\infty} \quad (\text{Schreiner}).$$

Les deux coefficients que nous venons d'étudier s'appliqueront:

1° En tonométrie, ébullioscopie, etc.

2° Dans les mesures du genre de celles de Lewis; r doit bien être le même pour HCl et KCl puisque la dissociation est totale et la concentration identique.

3° Dans l'explication suivante: en général, même pour des solutions non complètement dissociées, on aura

$$\alpha = \frac{1}{f_a} \quad \frac{\mu_v}{\mu_\infty} > \frac{\mu_v}{\mu_\infty},$$

de là l'augmentation de l'effet catalytique, etc.

Coefficient d'activité f_a . — On a essayé d'étendre la loi d'action de masses aux concentrations quelconques, mais on obtient alors des expressions compliquées; Lewis a proposé (1901-1908) de garder les formules simples et de supposer que la masse active est plus petite que la concentration.

Les « activités » des substances réagissantes sont alors définies par la formule

$$\psi = -RT \log \frac{a_1 n_1 \dots}{a_2 n_2 \dots}$$

dans laquelle ψ est l'énergie libre de la réaction; R une constante égale à 0,83; T , la température absolue; a_1, a_2 , des coefficients; n_1, n_2 , les nombres de molécules par litre. Le coefficient d'activité est alors

$$f_a = \frac{a'}{c},$$

où c est la concentration vraie d'un ion. Pour les électrolytes forts

$$\alpha = 1 \quad \text{et} \quad c' = c,$$

concentration de l'électrolyte. Malgré cette simplification, la détermination de f_a est très difficile.

Pour les ions, les méthodes proposées donnent plutôt

$$\sqrt[3]{f_a c'} = f_a$$

(activité de l'électrolyte). Les mesures de force électromotrice sont utilisables pour cette détermination.

Bjerrum indique, d'autre part, une formule déduite de la relation de Duhem-Margules:

$$\log f_a = -4k \sqrt[3]{c},$$

où k est le même que plus haut. On retrouve ainsi la régularité des sels de même valence, régularité vérifiée expérimentalement.

Bjerrum donne encore cette autre formule

$$\log_{10} f_a = -26 \frac{n^2}{i} \sqrt[3]{c},$$

qui rendrait compte des résultats obtenus par l'expérience; elle indique par exemple l'importance des influences électrostatiques en milieu non aqueux. Par contre, Lewis et Randall (1911) renoncent à l'établissement d'une formule et donnent des tables de f_a pour 17 électrolytes.

Applications du coefficient f_a . — S'il n'y a en présence que des électrolytes forts, α est pratiquement égal à 1; les propriétés dont il est question ci-dessus ne dépendent que de la concentration totale en ions. Cela explique les résultats de Brönsted.

S'il y a aussi des électrolytes faibles, les résultats sont bien différents; par exemple pour l'addition à un électrolyte faible d'un électrolyte fort à ion commun.

L'ancienne théorie utilise la formule

$$\frac{c'c''}{c_0} = K, \quad \text{d'où} \quad \frac{c'}{c_0} = \frac{K}{c''};$$

dans ce cas, si c'' augmente, la rétrogradation classique s'ensuit. D'après la nouvelle théorie, il faut remplacer les (c) par les (a) , ou bien garder les (c) , mais introduire une quantité K_c qui augmente avec la concentration totale, on obtient ainsi une chute beaucoup moins rapide de la dissociation.

On peut traiter ainsi la loi de dilution; montrer que la dissociation vraie de l'eau doit augmenter par addition de sel; étudier l'influence des sels sur le virage des indicateurs (favorable à la nouvelle théorie) et les équilibres hétérogènes: l'addition d'un sel à ion commun, qui diminue la solubilité en solution étendue, augmente au contraire la solubilité en solution concentrée (vérifications quantitatives de Brönsted), etc...

Il n'est pas douteux d'ailleurs que f_a ne dépend pas seulement des actions électrostatiques entre les ions. Plusieurs phénomènes physiques et chimiques indiquent qu'il se produit une hydratation des ions, et le coefficient f_a doit subir de ce fait une correction. C'est ainsi que les propriétés des acides faibles indiqueraient, par exemple, la fixation de 8 H⁺ sur l'ion H⁺. — E. D.

SECTION INDUSTRIELLE

Un laboratoire d'essais à 500 000 volts

Dans cette étude, l'auteur donne une description du nouveau laboratoire que viennent d'installer les Ateliers de Constructions électriques de Delle, à leurs usines de Villeurbanne. Ce laboratoire a été établi spécialement en vue des essais de l'appareillage à très haute tension que comportent les grands réseaux de transmission d'énergie électrique.

Local d'essais. — Le local d'essais a les dimensions suivantes : 13 m de longueur, 12 m de largeur et 9 m de hauteur. Ces grandes dimensions étaient imposées par la nécessité de réduire au minimum l'influence de la terre sur les côtés et au-dessus des appareils à essayer.

Une grande baie de 6 m sur 5 m, fermée normalement par un rideau de fer, permet de faire communiquer directement le laboratoire avec le hall de montage des gros interrupteurs dans l'huile. Grâce à cette disposition, on peut effectuer les essais normaux des interrupteurs sans introduire ces derniers dans le laboratoire.

On s'est préoccupé tout particulièrement, dans l'établissement du laboratoire, d'assurer une observation exacte des phénomènes. Le local d'essais peut naturellement être rendu complètement obscur ; les murs ont été recouverts d'un badigeon mat de couleur sombre de façon à éviter les reflets. Une galerie placée à 6 m du sol permet au personnel une observation facile et sans danger des phénomènes.

Les conducteurs d'amenée du courant ont été protégés par une enveloppe protectrice de diamètre suffisant pour éviter la production d'effluves.

Les supports des connexions sont constitués par des tubes en haefelyte munis de larges écrans en cuivre.

Transformateur. — Le groupe élévateur est alimenté à la tension de 500 v, 50 p : s et élève la tension à 500 000 v efficaces par rapport à la terre. On a adopté la mise à la terre d'un pôle, malgré les difficultés d'isolement que comporte cette disposition, en raison du peu de valeur que présentent les essais faits entre pôles isolés.

Le groupe transformateur se compose de deux transformateurs montés en série (fig. 1). Il a été construit par la Maison Haefely de Bâle. Il présente la particularité remarquable d'être à isolement d'air. Les cylindres isolants qui supportent les enroulements à haute tension sont séparés du noyau magnétique par un large intervalle d'air.

Les culasses du transformateur sont isolées du sol au moyen de supports en haefelyte. En se reportant au schéma de la figure 2, on se rendra compte que l'isolement à une tension aussi élevée a pu être réalisé sans le secours de l'huile en répartissant cette tension sur deux distances d'éclatement connues.

Le premier transformateur est alimenté à 500 v par rapport à la terre ; l'enroulement secondaire est

monté en série avec l'enroulement primaire et élève la tension à 200 000 v par rapport à la terre. Le milieu de l'enroulement à haute tension est relié à la culasse en sorte que la tension totale de 200 000 v est supportée

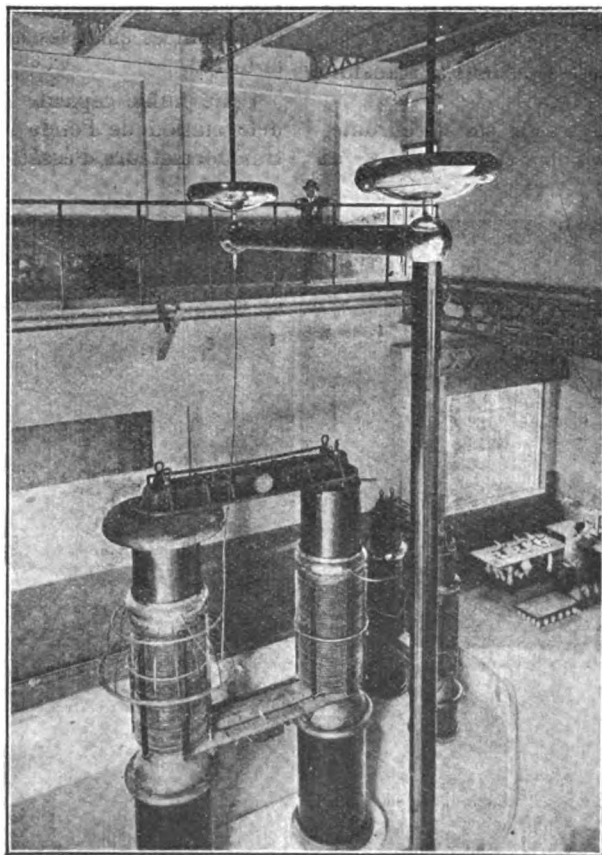


Fig. 1. — Le local d'essais vu de la galerie d'observation.

monté en série avec l'enroulement primaire et élève la tension à 200 000 v par rapport à la terre. Le milieu de l'enroulement à haute tension est relié à la culasse en sorte que la tension totale de 200 000 v est supportée

jusqu'à concurrence de 100 000 v par le cylindre isolant et le matelas d'air qui séparent le point V_1 de la carcasse et jusqu'à concurrence de 100 000 v

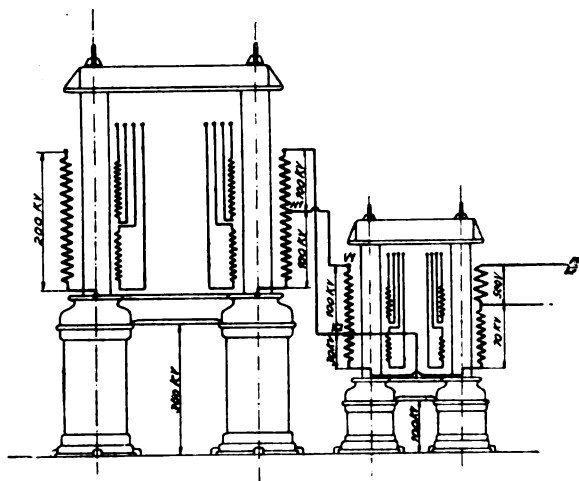


Fig. 2. — Schéma du groupe élévateur de 500 à 500 000 volts.

par les cylindres isolants qui supportent le transformateur.

Le second transformateur est excité par un enroulement connecté aux points 100 000 et 200 000 v du

premier transformateur ; le milieu de son enroulement à haute tension est également relié à la culasse en sorte que la tension totale de 500 000 v contre terre est supportée jusqu'à concurrence de 200 000 v par le cylindre isolant et le matelas d'air qui séparent l'enroulement haute tension de la carcasse du transformateur et jusqu'à concurrence de 300 000 v par les cylindres isolants qui supportent tout le transformateur.

En vue de combattre les effets de la forte dispersion qui se produirait inévitablement avec cette disposition, les transformateurs sont munis d'enroulements de compensation.

Ce type de transformateur présente les avantages suivants par rapport aux transformateurs à huile :

- 1° Suppression de la borne de sortie qui est toujours le point faible des transformateurs à isolement d'huile ;
- 2° Poids faible en raison de la suppression des cuves et de l'huile de remplissage ;
- 3° La capacité propre du transformateur est considérablement plus faible en raison de la différence des constantes diélectriques de l'air et de l'huile et, d'autre part, de la possibilité d'augmenter considérablement les distances entre les enroulements à haute tension et la terre.

Cette faible capacité a le gros avantage d'éviter la déformation de l'onde de tension qui caractérise les transformateurs d'essais à isolement par huile.

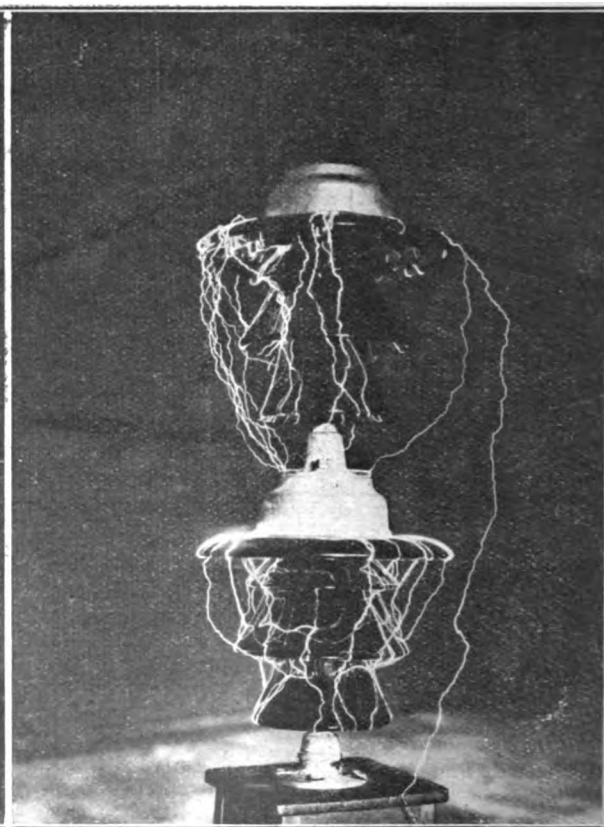
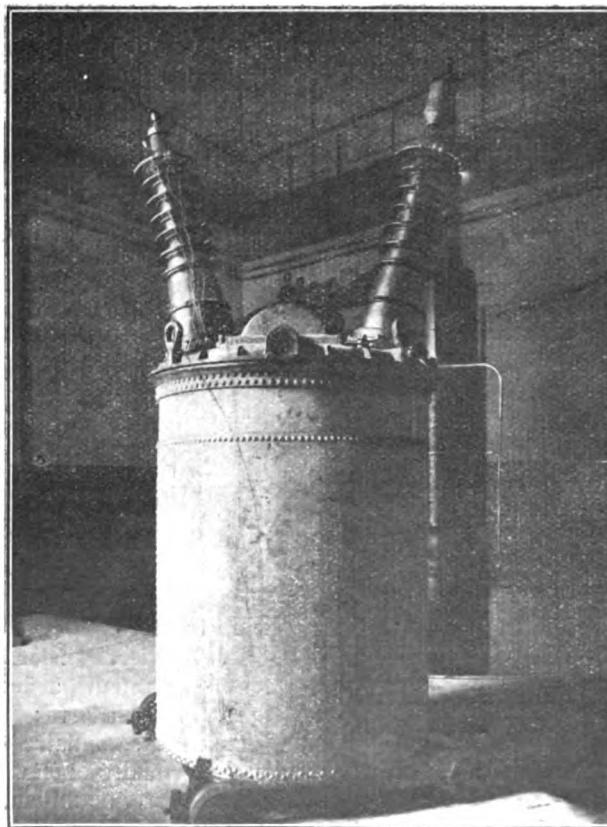


Fig. 3. Amorce à 280 000 v sur un disjoncteur à 120 000 v. — Fig. 4. Arc à 375 000 volts sur une colonne Ohio Brass.

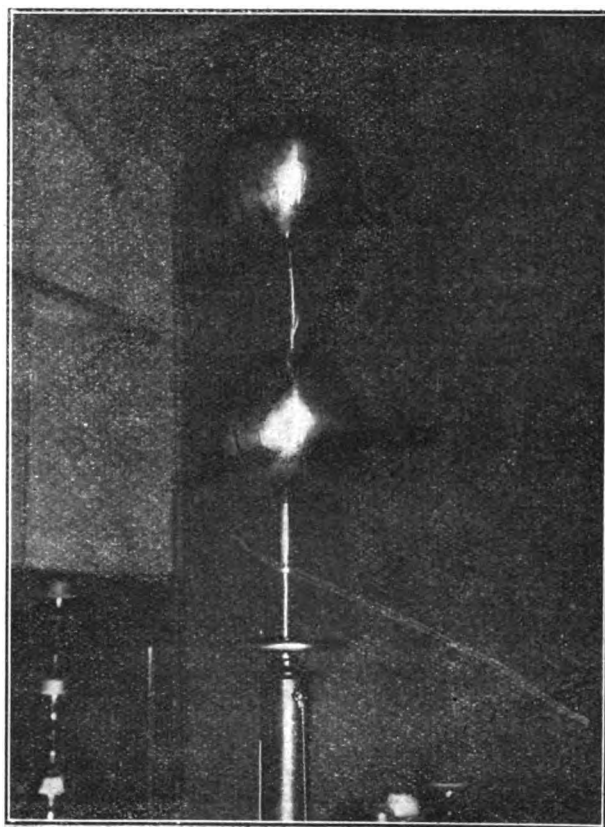


Fig. 5. — Éclateur à boules de 500 mm; arc à 410 000 volts.

4° Les enroulements à haute tension étant visibles, un défaut peut être aperçu dès son origine, et localisé.

En regard de ces avantages, ce nouveau type de transformateur présente l'inconvénient d'une plus grande sensibilité aux agents extérieurs, poussière, humidité, ozone.

Quoique sa mise en service soit de date trop récente pour permettre un jugement définitif, il ne semble pas jusqu'à présent que les craintes légitimes qu'on pouvait avoir à ce sujet soient justifiées.

On sera également tenté de considérer comme un inconvénient la grosse chute de tension, conséquence inévitable des larges intervalles d'air qui séparent les enroulements haute tension du noyau magnétique. En réalité cet inconvénient se trouve compensé par la possibilité de réduire considérablement la résistance de protection qu'on a coutume de mettre en série avec les transformateurs d'essais; alors que les Américains admettent couramment, pour leurs transformateurs d'essais à haute tension, une résistance de protection de 1 ohm par volt, on a pu limiter cette résistance pour le transformateur à isolement d'air à un septième environ de cette valeur.

La puissance des transformateurs en régime continu est de 200 kv-A. Les essais faits à Villeurbanne ont montré que, malgré la chute de tension, la puissance du transformateur était très largement suffisante pour

tous les essais que comporte la fabrication de l'appareillage à très haute tension. Ainsi l'isolateur Jeffery Dewitt, le plus épais et à ce titre le plus résistant des isolateurs de suspension, est percé et détruit en quelques secondes à une tension voisine de 250 kv. La photographie de la figure 3 représente l'amorçage d'un arc à 280 000 v sur un disjoncteur à 120 000 v; celle de la figure 4 représente l'arc obtenu à 375 000 v sur une colonne Ohio Brass.

Alimentation. — On ne pouvait songer à brancher directement le transformateur sur le réseau en raison des variations inévitables de l'amplitude et de la forme de l'onde de tension de ce dernier. On a donc prévu un groupe spécial d'alimentation construit par la Société alsacienne de Constructions mécaniques à Belfort et se composant d'un moteur synchrone alimenté par le réseau et d'un alternateur monophasé de construction spéciale ayant une courbe de force électromotrice pratiquement sinusoïdale.

Cette disposition permet de régler de façon très précise la tension secondaire en agissant sur l'excitation de l'alternateur.

Mesure de la tension. — La science est à l'heure actuelle très mal outillée pour la mesure précise des



Fig. 6. — Vue du dispositif pour essais sous pluie.

très hautes tensions. On a imaginé ces dernières années un certain nombre de dispositifs dont aucun ne paraît avoir donné toute satisfaction. A Villeurbanne on utilise la méthode de l'éclateur à boules de 500 mm. et les courbes d'étalonnage de Peek corrigées en tenant compte de la pression barométrique. Les boules sont disposées verticalement pour éviter l'influence du courant d'air ascendant qui se manifeste avec les éclateurs horizontaux (fig. 5).

Les essais faits à Villeurbanne montrent que les résultats donnés par cette méthode restent toujours comparables. L'écart avec la tension déduite du rapport de transformation varie naturellement avec la capacité des appareils à essayer, mais ne dépasse pas 10 pour 100.

Dispositif d'essais sous pluie. — Les essais sous pluie ont une importance toute particulière pour les constructeurs d'appareillage à très haute tension, la tendance actuelle étant d'installer cet appareillage en plein air sans protection contre les intempéries.

Etant données les dimensions des appareils à essayer,

on ne pouvait guère songer à placer le dispositif d'essais sous pluie à l'intérieur du bâtiment. On s'est donc décidé à le placer en plein air en utilisant comme appui le château d'eau placé dans le voisinage.

Un rideau mobile permet d'établir une communication directe entre le laboratoire et la plate-forme d'essais sous pluie.

La herse d'essais (fig. 6) est placée à 12 m de hauteur et permet d'obtenir une pluie artificielle d'inclinaison et d'intensité variables sur une surface de 30 m². L'eau s'échappe par 8 000 orifices répartis en plusieurs sections sur toute la surface de la herse. D'autre part, trente pulvérisateurs permettent de produire, indépendamment de la pluie, un brouillard très dense.

La pression nécessaire est donnée par un groupe moto-pompe. L'alimentation de la herse peut se faire à volonté avec de l'eau de source ou avec de l'eau de pluie recueillie spécialement à cet effet dans une citerne.

H. DE RABMY.

Directeur général des Ateliers
de Constructions électriques de Delle.

Un curieux cas d'électrocution

Sans qu'aucun contact ne se soit produit entre les conducteurs manipulés et une ligne à haute tension placée à 1.80 m au moins au-dessus de conducteurs sans courant, la simple section d'un de ces conducteurs, d'ailleurs complètement isolé de toute source de courant, n'en produisit pas moins l'électrocution de l'ouvrier qui sectionna le fil. Ces opérations, que le développement des installations de téléphonie sans fil sur les réseaux d'énergie multipliera, appelle d'urgence la précision des prescriptions concernant les conditions de sécurité du travail sur les lignes électriques. Notre collaborateur, M. Turpain, qui a le premier préconisé l'utilisation des réseaux tant télégraphiques que téléphoniques et d'énergie à la généralisation de la téléphonie sans fil, et qui a été appelé à examiner les conditions de l'accident, suivi de mort, en question, précise en cet article les conditions supplémentaires de sécurité qui s'imposent.

Au cours d'essais de téléphonie sans fil effectués en février dernier sur un réseau d'énergie, une électrocution suivie de mort s'est produite dans des conditions qui doivent retenir l'attention des ingénieurs-électriciens et des compagnies responsables des conditions de sécurité du travail.

I. — Entre deux stations distantes d'une vingtaine de kilomètres, une société de distribution d'énergie électrique voulait établir des communications de téléphonie sans fil. Tout d'abord des antennes ordinaires furent tendues, aux deux stations, à la manière usuelle sans utiliser le réseau, par la compagnie de construction radioélectrique qui fut chargée d'assurer la communication téléphonique sans fil en question.

Nous avons en effet, au Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences qui s'est tenu à Rouen en août 1922, rappelé et précisé l'utilisation à faire des réseaux tant télégraphiques et téléphoniques que d'énergie pour faciliter commodément l'échange des communications sans fil aussi bien téléphoniques que télégraphiques. Dès 1899, d'ailleurs, nous avons fixé les principes de multicommutation généralisée par ondes électriques.

Aiguillée sans nul doute par le rappel que nous avons fait l'an dernier des principes concernant l'utilisation des lignes de transmission d'énergie pour l'échange de communications sans fil (1), et éprouvant d'ailleurs quelques difficultés à assurer, par simples antennes disposées en hauteur, la régularité des échanges téléphoniques sans fil, la compagnie qui s'était chargée d'assurer la communication de téléphonie sans fil voulut utiliser le réseau de haute tension établi entre les deux stations à relier par sans fil.

A cet effet, ainsi que le représente le schéma de la figure 1, des antennes furent disposées, tant en A (c'est ainsi que nous désignerons l'une des stations extrêmes) qu'en B (l'autre station extrême), parallèlement aux fils haute tension et sur les mêmes poteaux, suivant une longueur qui varia de 100 à 240 m au cours des essais et à une distance de la ligne d'énergie qui resta constamment d'au moins 1,50 m à 1,60 m.

Cependant les relations téléphoniques sans fil furent assez précaires. A 3,500 km environ de A, en C, au lieu de l'accident, un transformateur abaissait la tension de

(1) A. TURPAIN : Sur la multicommutation généralisée en télégraphie. *R. G. E.*, 24 septembre 1921, t. X, p. 392.

15 000 à 3 000 v. On attribua la difficulté des relations à la présence de ce transformateur. Deux antennes furent donc tendues sur les poteaux mêmes, de part et d'autre du transformateur ; la ligne à 3 000 v, côté A ; la ligne à 15 000 v, côté B. Au signal, il était entendu qu'on couperait deux fils de 160 à 500 m tendus sur 240 m au-dessous de la ligne à 3 000 v, et sur 240 m également au-dessous de la ligne à 15 000 v.

Ces conducteurs, constitués par du câble de cuivre à 7 brins formaient chacun un toron de 3,5 mm environ de diamètre. Ils étaient disposés, dans la partie la plus rapprochée, à 1,60 m au moins du conducteur haute tension le plus proche. Il n'y avait pas à craindre vu leurs diamètres et leur constitution qu'ils se tordent, et, en évoluant au-dessus de leur niveau, qu'ils aillent toucher aux conducteurs haute tension. Les témoins de l'accident qui assistèrent au travail de X... (l'électrocuté) s'accordent à dire qu'en fait il n'y eut aucun contact, à aucun moment, entre le conducteur coupé et les fils

haute tension. D'ailleurs, le premier conducteur coupé qui fut certainement celui placé en avant et le plus éloigné des fils haute tension (car, après l'avoir coupé, X... enroula, autour de la partie A₁ restée tendue, l'extrémité de cette partie qu'il venait de sectionner, ce qui n'a pas eu lieu pour le conducteur A₂, après le sectionnement duquel l'accident se produisit et dont l'extrémité était encore droite en a₁, lors des deux visites faites à C par moi-même) : ce premier conducteur coupé ne donna lieu à aucun incident. La partie, ballante par la coupure, fut lâchée, après avoir été abaissée par X... et toucha terre sans donner aucune étincelle. La même opération de sectionnement du second conducteur s'effectua, d'abord sans particularité. C'est au moment où ce second conducteur lâché toucha terre, que des étincelles se produisirent. Deux témoins de l'accident sont formels à cet égard. Les étincelles durèrent quelques instants, et laissèrent des traces de fulguration sur le mur d'une écurie voisine. Ces tra-

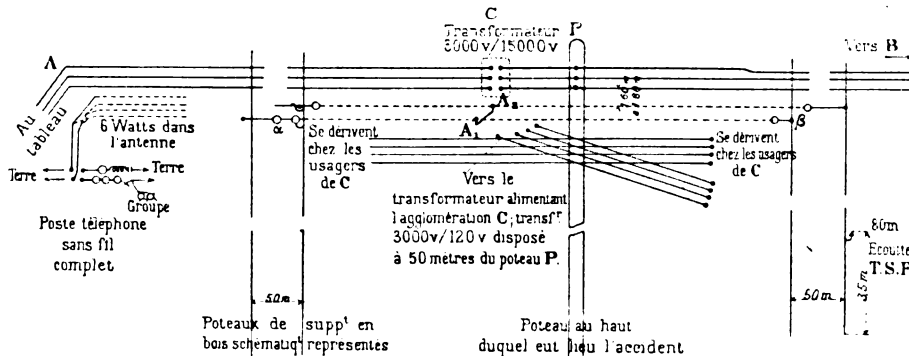


Fig. 1. — Schéma de l'installation.

De A₁ à a, et de A₁ à β il y a 240 mètres. La longueur de la partie tendue du réseau à basse tension de C ne dépasse pas 150 mètres.

ces existaient encore, en partie, lors de ma visite.

C'est au moment où ces étincelles se produisirent, à l'arrivée du fil à terre, que X... qui était installé dans les conducteurs basse tension (dont le courant avait d'ailleurs été coupé entre les deux opérations) se renversa, ayant lâché sa pince, et resta suspendu, par un pied, la tête en bas.

Les certificats médicaux, celui de décès, comme celui d'autopsie, n'indiquent aucune brûlure. Il n'est cependant point douteux que c'est le phénomène électrique engendré par l'arrivée au sol du second fil coupé, phénomène manifesté par les étincelles que ce contact détermina, qui provoqua le renversement de X... et le laissa suspendu, sans mouvement. Il n'y a, non plus, aucun doute sur ce que la cause de ce phénomène électrique doit être attribuée à la circulation du courant haute tension dans les conducteurs disposés à 1,40 m ou 1,80 m plus haut. Ce serait donc un effet d'induction qui aurait renversé X... Cet effet a-t-il déterminé immédiatement et irrémédiablement la mort ? ou la mort est-elle consécutive de cet effet d'induction et de la durée

de suspension, la tête en bas, de X... pendant le temps nécessaire à la suppression du courant haute tension.

Le certificat d'autopsie ne se prononce pas nettement sur ce point.

Les dispositions existent pour permettre la coupure du courant haute tension. Cette coupure fut obtenue téléphoniquement à A, puis à B avant même que l'on eût actionné le poste de coupure le plus proche.

II. — Une question se pose : les expériences poursuivies étaient-elles dangereuses ? Evidemment, puisqu'elles ont provoqué l'électrocution et l'asphyxie de X. Cependant, des expériences identiques avaient précédemment été pratiquées. Il est formellement établi qu'on a plusieurs fois travaillé et vu travailler identiquement sur ces antennes. Ces expériences identiques ont été pratiquées sans accident et sans que, cependant, le courant haute tension ait été supprimé.

Après examen complet des conditions de l'accident et de la disposition des choses, mon sentiment est qu'on se trouve en présence d'un effet de capacité. Le premier

fil coupé A_1 était le plus éloigné du poteau. Pour le couper, X... resta sur l'échelle qu'il avait dressée contre le poteau de soutien. Pour couper le second fil d'antenne, plus éloigné de l'échelle (voir fig. 2), X... s'installa dans le réseau basse tension qui dessert la petite agglomération de C, réseau de basse tension dont le courant avait

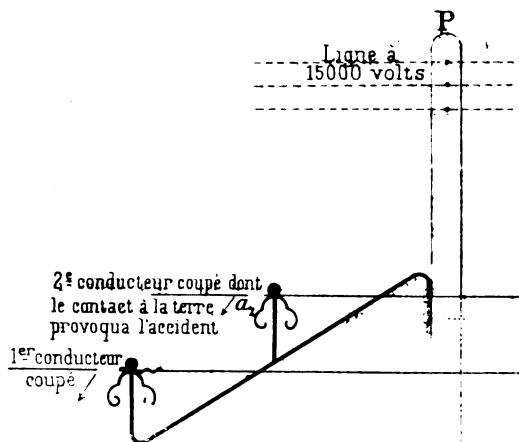


Fig. 2. — Vue schématique montrant le montage des fils sur le poteau.

d'ailleurs été coupé avant le sectionnement de la seconde antenne A_2 .

X... installé dans le réseau de basse tension, lequel constitue une capacité ⁽¹⁾, a fait corps avec cette capacité. Très probablement le second fil en touchant terre est resté en contact avec le réseau basse tension et de ce fait, en touchant terre, a déterminé un accroissement important de la capacité du conducteur dont X... faisait partie. Ce conducteur se chargeait et se déchargeait donc par l'effet du courant induit dans le circuit contenant cette capacité, courant induit par la circulation même du courant à 15 000 v existant au-dessus et parallèlement sur une longueur de 240 m au moins.

Ce qui paraît confirmer cette explication, c'est l'absence de brûlure sur le corps de X... dont l'inhibition aurait été provoquée par une décharge ou une série de décharges rapides analogues à celles des bouteilles de Leyde.

L'éventualité d'une décharge atmosphérique, d'un coup de foudre reçu de loin, par les lignes, a été envisagée. Il est à remarquer que les antennes ne se trouvaient tendues que sur 240 m de part et d'autres de X... Il en est de même d'ailleurs des conducteurs de basse tension qui, à peu de distance du poteau au sommet duquel X... fut électrocuté se dérivent dans le bourg et n'alimentent que l'agglomération de C.

On ne pourrait donc envisager qu'une décharge atmosphérique produite sur le fil haute tension. Mais en dehors du fait qu'aucun orage violent n'a été signalé sur la ligne, que, d'ailleurs, les appareils enregistreurs

n'ont inscrit aucun coup de foudre, le foudrolement de la ligne haute tension n'expliquerait pas la production des étincelles, nettement accusées par deux témoins, entre le câble que X... venait de lâcher et la terre, et cela pendant une certaine durée, bien supérieure à celle qu'un coup de foudre eût limité.

Il faut donc revenir à l'explication indiquée ci-dessus.

III. — Une dernière question est à envisager : les prescriptions des décrets et règlements concernant les conditions de sécurité du travail sur les lignes électriques ont-elles été observées ?

Les décrets et arrêtés techniques visant les précautions à prendre concernant les conditions du travail lors d'opérations telles que celles au cours desquelles s'est produit l'électrocution de X... sont :

1° Le décret du 11 juillet 1907, art. 10 :

Il est formellement interdit de faire exécuter aucun travail sur les lignes électriques de la seconde catégorie (c'est-à-dire dans l'espèce : installations comportant des tensions efficaces supérieures à 150 v) sans les avoir au préalable coupées de part et d'autre de la section à réparer.

2° L'arrêté du 21 mars 1910, ch. IV, art. 34 : « Précautions à prendre dans les travaux d'entretien des lignes » :

Lignes de la première catégorie (tensions efficaces inférieures à 150 v). — Aucun travail ne peut être entrepris sur des conducteurs de la première catégorie en charge ou sur des conducteurs placés sur les mêmes supports que des conducteurs de deuxième catégorie sans que des précautions suffisantes assurent la sécurité de l'opérateur.

Lignes de la deuxième catégorie (tensions efficaces supérieures à 150 v). — Il est formellement interdit de faire exécuter sur les lignes de la deuxième catégorie aucun travail sans qu'elles aient été, au préalable, isolées de tout générateur possible de courant.

Il n'apparaît pas que les prescriptions ci-dessus aient été violées. Mais ces prescriptions sont incomplètes; elles sont surtout insuffisantes.

Prescrire que des précautions suffisantes assurent la sécurité de l'opérateur autorise, dans l'espèce, à ne pas couper la haute tension, alors qu'aucun travail n'était effectivement exécuté sur ces lignes, mais seulement sur des fils tendus à 1,60 m ou 1,80 m au-dessous, alors surtout qu'ayant naguère, sans accident, fait exécuter exactement le même travail, on pouvait légitimement se croire en des conditions de sécurité suffisantes.

Nous estimons qu'en aucun cas on ne devrait être autorisé à faire accéder des ouvriers à des poteaux ou pylônes portant des lignes de haute tension sans que, préalablement, le courant haute tension ait été coupé, et surtout lorsque le travail à exécuter comporte des sectionnements de fils tendus parallèlement à ceux de haute tension même distants de 1,60 m à 1,80 m, alors que ces fils restent parallèles aux fils de haute tension sur un parcours de quelques centaines de mètres.

A mon sens, toutes les précautions d'usage ont été

(1) Capacité assez élevée, étant données les installations du bourg situé en C que dessert le réseau à basse tension.

prises en l'espèce, mais ces *précautions d'usage* ne sont pas suffisantes. Il est courant de travailler sur des conducteurs, disposés au-dessous de conducteurs haute tension en activité, à des distances de 1,80 m à 2 m. Cela est *courant*, mais cela est *très dangereux*. Il serait donc extrêmement désirable que des précisions fussent données en ce qui concerne les conditions de sécurité du travail sur les lignes électriques, et qu'il

fût *formellement interdit* d'effectuer *aucun travail*, non seulement sur les lignes mêmes de haute tension, mais encore sur toute ligne empruntant sur un parcours, ne fût-ce que de quelques centaines de mètres (voire 100 m ou 200 m seulement), les mêmes poteaux.

A. TURPAIN,

Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

Remarque sur l'amarrage rationnel des lignes de transmission d'énergie à très haute tension

Dans cette étude, l'auteur donne une description d'un anneau genre Hewlett, présentant une très grande résistance à la rupture et permettant de monter rapidement les éléments en porcelaine des isolateurs à chaînons.

Il existe actuellement un certain nombre de types d'isolateurs de suspension pour l'établissement de lignes à très haute tension; mais, en principe, ces divers isolateurs se ramènent à deux types généraux; le type à scellement comprenant tous les types à griffes ou à capot et tige centrale, et le type sans scellement, genre Hewlett.

L'ingénieur peut être embarrassé dans le choix de l'isolateur à adopter, car chacun de ces types a ses avantages et ses inconvénients particuliers et il est difficile de se prononcer sur l'importance à attribuer à chaque élément du problème. Nous n'avons pas la prétention de faire un exposé complet de la question; nous nous proposons simplement d'indiquer une utilisation rationnelle de l'un de ces types pour les amarrages. La caractéristique particulière des amarrages est leur grande résistance mécanique, car le bris d'une telle chaîne aurait des conséquences désastreuses. Il y a donc lieu de choisir le type d'isolateur susceptible de présenter la résistance mécanique la plus élevée. On est conduit ainsi à envisager plus particulièrement l'emploi de la chaîne d'isolateurs genre Hewlett convenablement modifiée.

Il résulte d'essais successifs, tous concordants, faits au Laboratoire des Arts et Métiers par la Commission technique, que la rupture des anneaux Hewlett en cuivre rouge avait lieu pour un effort de 3800 kg à 4000 kg (nouveau modèle renforcé). Tant qu'on n'a à considérer qu'une chaîne d'isolateurs d'alignement, on peut admettre que l'anneau en cuivre offre un coefficient de sécurité très largement suffisant; mais, dans le cas de pylônes d'arrêt ou d'angles répartis le long d'une ligne, la chaîne supporte un effort plus important qui varie avec les sections du câble, la température et la violence du vent.

On est alors conduit, suivant les cas, à doubler, tripler, voire quadrupler le nombre des chaînes pour obtenir le coefficient de sécurité prescrit par les règlements. Cette méthode est extrêmement coûteuse, car une double chaîne est d'un prix plus élevé que deux chaînes simples; son montage et son entretien sont plus difficiles. Elle présente en outre l'inconvénient d'être inesthétique en alourdissant la ligne.

Si donc il était possible de réaliser une chaîne capable d'une contrainte double, par exemple, de celle considérée plus haut, on supprimerait tous les doubléments d'une ligne; les triplements et quadruplements seraient remplacés par une double chaîne seulement.

Une chaîne constituée par des éléments d'isolateurs

Hewlett présente l'avantage particulier sur les autres types de chaînes à éléments scellés, de réaliser une fixation mécanique indépendante de la résistance mécanique de la porcelaine, mais dépendant uniquement de la liaison métallique des éléments.

La destruction d'une porcelaine n'amènerait pas la chute du conducteur, mais simplement une légère augmentation de la flèche qui se traduirait, du reste, par une moindre tension du câble et, donc, une moindre fatigue de la partie de la chaîne non endommagée.

Si, même, toutes les porcelaines d'une chaîne d'arrêt étaient détruites, il ne s'ensuivrait pas une flèche exagérée à cause de l'équilibre des tensions qui s'établirait avec les portées précédentes où l'allongement du câble se résorberait en partie. A ce moment-là, le conducteur ne se trouverait pas à portée du public.

On arrive donc à l'idée d'adopter les chaînes Hewlett pour l'ancrage avec anneaux de résistance la plus grande possible fût-ce même au prix d'une légère diminution de la résistance mécanique de la porcelaine.

Il est nécessaire de rappeler ici que l'isolateur Hewlett en tant que porcelaine, et lorsqu'il est sollicité au moyen de câbles souples, peut supporter une traction mécanique maximum de 6000 kg environ. On a vérifié que, quand il est sollicité par des anneaux rigides en métal dur en contact immédiat avec la porcelaine, l'effort de rupture n'est plus que de 4800 kg environ, soit une diminution de 20 pour 100.

Pour réaliser les mêmes conditions de tenue que dans le cas d'attache par câbles souples, il suffit d'interposer entre l'anneau rigide et la porcelaine, une matière relativement plastique telle que du plomb ou du cuivre, par exemple, comme l'a montré un essai récent fait aux Arts et Métiers.

On peut objecter que l'emploi d'attaches de résistance mécanique très élevée, permettant la réduction du nombre des chaînes en parallèle, conduit, pour un même effort, à un travail de la porcelaine plus élevé; mais étant donnée la valeur des coefficients de sécurité exigés, la contrainte de la porcelaine restera, dans tous les cas, dans des limites suffisamment réduites pour offrir toute sécurité. Pour fixer les idées, si nous admettons une attache métallique résistant à un effort de 8000 kg et un coefficient de sécurité égal à 5, la contrainte de la porcelaine ne sera que de 1600 kg, correspondant à un coefficient de sécurité de 3,5 environ, valeur bien suffisante.

Quelque opinion ou préférence qu'on ait pour tel ou tel

type d'isolateur suspendu, on aura donc intérêt à adopter, pour les arrêts de lignes, les chaînes d'isolateurs type Hewlett construites avec les anneaux d'acier, alors même que le reste de la ligne serait équipé avec des chaînes d'un type différent.

On peut d'ailleurs observer que c'est manquer de logique que d'avoir une porcelaine plus résistante d'environ 50 pour 100 que son attache métallique puisque le bris de l'attache amène la chute de la chaîne et, par conséquent, la destruction des éléments par choc sur le sol.

En partant de ces considérations, il a été construit un anneau en acier représenté sur la figure 1 qui, essayé au

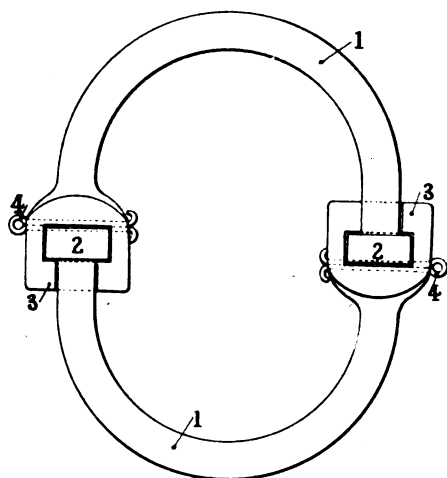


Fig. 1. — Anneau d'acier en deux parties pour isolateurs d'arrêt du type Hewlett.

Laboratoire des Arts et Métiers s'est rompu sous un effort de 9 110 kg. Pour une chaîne de deux éléments, la porcelaine de l'un d'eux s'est rompu sous un effort de 5 760 kg, l'autre élément restant intact.

Cet anneau est muni d'un dispositif de jonction nouveau, à assemblage rapide. Il est formé de deux pièces 1 et 1, semblables, comportant à chacune de leur extrémité une partie mâle 2 et une partie femelle 3. L'assemblage de ces parties se fait rapidement par simple translation latérale, la partie femelle étant ouverte sur une de ses faces extérieure. Tout glissement de l'assemblage est ensuite empêché au moyen d'une goupille fendue 4 qui vient se loger dans une rainure spécialement aménagée à la partie supérieure de l'extrémité mâle et qui se trouve être en regard d'un trou de goupille percé à cet effet dans la partie femelle.

Ce dispositif réduit, en outre, l'intervalle entre deux iso-

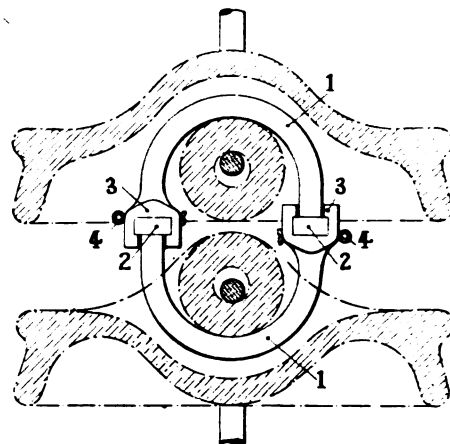


Fig. 2. — Disposition de l'anneau et des chapeaux de porcelaine.

lateurs au strict minimum, 1 cm environ, ce qui met la boucle métallique complètement à l'abri de l'arc éventuel entre conducteur et terre, la distance entre cloches d'isolateurs voisins étant inférieure à celle comprise entre la cloche et l'anneau métallique ainsi que l'indique la figure 2.

P. PAIRARD.

L'utilisation du combustible sur les chemins de fer

Poursuivant les travaux en vue desquels elle fut instituée par décret du 14 mars 1920 du ministre des Travaux publics, la Commission d'Utilisation du Combustible vient de publier, dans le « Journal officiel » du 23 avril 1922, p. 4220 à 4230, son sixième rapport, ainsi qu'un rapport de sa première sous-commission. Jusqu'ici nous avons reproduit dans ces colonnes les divers rapports émanant de la Commission d'Utilisation du Combustible et de ses sous-commissions (les indications bibliographiques relatives à ces publications ont été données dans la note qui précède la reproduction du cinquième rapport, « R. G. E. », 21 janvier 1922, p. 83). Nous ferons exception à cette règle pour le rapport que vient de publier la première sous-commission en raison de la spécialisation du sujet traité : l'utilisation du combustible dans la traction par locomotives à vapeur. Mais nous croyons devoir reproduire le rapport de la Commission, d'une part, parce qu'il envisage dans sa seconde partie la traction électrique, d'autre part, parce qu'il donne un résumé substantiel des points les plus importants envisagés par la première sous-commission de fournir ainsi sous une forme abrégée des données utiles pour la comparaison des avantages de la traction électrique et de la traction par locomotives à vapeur.

Sixième rapport de la Commission d'Utilisation du Combustible

Avant la guerre, les six grands réseaux de chemins de fer français possédaient 13 800 locomotives, représentant une puissance de 8 300 000 kw. A la fin de 1920, ces six mêmes réseaux (nous laissons de côté les chemins de fer d'Alsace et

de Lorraine pour l'homogénéité de la comparaison) avaient à leur disposition 17 900 locomotives, dont 14 600, d'une puissance globale de 9 800 000 kw, leur appartenant, les autres louées ou empruntées. Malgré l'augmentation du

nombre des machines, le service effectué en 1920 a été sensiblement moindre que celui de 1913. Les trains de marchandises ont accompli un parcours total de 134 millions de kilomètres au lieu de 154 millions, transportant 49 milliards de tonnes à 1 km au lieu de 52 milliards et, si le mouvement des voyageurs a été, par lui-même, au moins aussi important (22 milliards de voyageurs transportés à 1 km au lieu de 19 milliards), il n'a été offert à ces voyageurs que des trains beaucoup moins nombreux, dont le parcours a atteint seulement 130 millions de kilomètres au lieu de 246 millions.

Or, ce moindre service a employé 10 pour 100 de plus de combustible. La consommation totale (services accessoires compris) qui en 1913 avait été de 8 100 000 t de houille, briquettes et coke pour l'ensemble des six réseaux s'est élevée à 8 900 000 t en 1920.

En 1913, le chiffre moyen de consommation des locomotives par tonne kilométrique remorquée (tare des véhicules comprise) ne dépassait guère 65 g. En 1919, ce chiffre était monté à 80 g environ, soit une augmentation de 25 pour 100.

Les causes de cette augmentation ont été mises clairement en lumière. Rappelons les principales :

1° Baisse de la qualité des charbons, dont la teneur en cendres a doublé et dont ni la nature ni le calibrage n'ont pu être constamment appropriés aux dispositions des foyers et des grilles ;

2° Moins bon état des machines, fatiguées par le service du temps de guerre, confiées en plus grand nombre qu'autrefois à des équipes non spécialisées et dont l'entretien incombait à des dépôts et à des ateliers aux prises avec des difficultés d'organisation et d'approvisionnement ;

3° Moins de soin et d'habileté de la part d'un certain nombre de mécaniciens et de chauffeurs, comme conséquence :

a) De la moindre expérience d'une partie du personnel, formé rapidement en vue de l'application de la journée de huit heures ;

b) De la mise à l'essai d'un mode de rémunération comportant un minimum de primes ;

c) De l'extension donnée au système de la banalité des machines ;

4° Importance prise, dans les nouveaux horaires, par les stationnements des machines en pression dans les dépôts.

Parmi ces causes, il en est qui provenaient de circonstances passagères, déjà totalement ou partiellement disparues, d'autres qui semblent destinées à durer et dont les efforts des compagnies ne peuvent tendre qu'à réduire progressivement l'influence.

Tant de ces efforts que des progrès nouveaux, le premier résultat à attendre est de ramener la consommation par tonne kilométrique au chiffre d'avant-guerre. Ce résultat en vaut la peine. Supposons, pour fixer les idées, que l'on ait à envisager, sur l'ensemble des réseaux français, un parcours total annuel de 400 millions de kilomètres de trains, chiffre réalisé en 1913 et que les trains (machine non comprise) aient une masse moyenne de 300 t, chiffre très modéré. Cela fait 120 milliards de tonnes kilométriques remorquées. A raison de 65 g, c'est une consommation de 7 800 000 t de charbon pour la traction des trains ; à raison de 80 g, c'est 9 600 000. La différence 1 800 000 t, représente 8 pour 100 de la production houillère de la France en 1919 ; c'est la production totale du bassin houiller du Gard.

Mais, ce premier et indispensable résultat obtenu, il ne suffira pas de s'y tenir.

Sans même rien changer d'essentiel dans le système actuel de traction par locomotives à vapeur chauffées au charbon, un certain nombre de perfectionnements, en voie

de réalisation ou à l'étude, sont à poursuivre pour améliorer de plus en plus la production et l'utilisation de la vapeur. Or, sur le pied supposé d'un service annuel de 120 milliards de tonnes kilométriques remorquées, chaque fois qu'un de ces perfectionnements abaissera seulement de 4 g, c'est-à-dire de 5 pour 100 de sa valeur de 1919, la consommation de charbon par tonne kilométrique remorquée, ce sera par an, une économie de près d'un demi-million de tonnes de combustible.

La question de la production et de l'utilisation de la vapeur des locomotives fait l'objet de l'article 5 du questionnaire du neuvième Congrès de l'Association internationale des Chemins de Fer. Pour y répondre, deux exposés ont été établis, l'un par M. Lacoïn, traitant la question pour tous les pays autres que ceux de langue anglaise et l'autre, pour les pays de langue anglaise, par M. G.-J. Churchward. Ces exposés ont été publiés au « Bulletin de l'Association » respectivement en octobre et en décembre 1921.

Les idées de perfectionnement qui se dégagent de ces deux études sont, dans leurs grandes lignes, tout à fait concordantes entre elles et avec celles que M. Loiret, après une enquête approfondie auprès des réseaux français, développe dans le rapport ci-après de la première sous-commission.

Ainsi qu'on le verra à la lecture de ce rapport, les principales caractéristiques du progrès de la locomotive sont présentement les suivantes :

1° La surchauffe, après les tâtonnements assez longs de sa mise au point, a cause gagnée. La température de surchauffe adoptée est 350°. On évalue l'économie qu'elle procure à 10 ou 15 pour 100 ; M. Churchward indique 12,5 pour 100 comme moyenne des résultats constatés sur le Great Western R. I. Sa généralisation, sauf dans quelques cas spéciaux, paraît devoir être poussée le plus possible ;

2° La double expansion est plus discutée qu'elle ne l'était il y a quelques années, à raison des complications de mécanisme et de service qu'elle entraîne et de l'augmentation des résistances intérieures. Il y a eu tendance, durant ces temps derniers, à préconiser la machine à surchauffeur et à deux cylindres, comme réunissant les avantages d'une marche économique grâce au surchauffeur et d'une grande simplicité de construction, d'entretien et de conduite. Du point de vue où nous sommes placés, il est cependant souhaitable que l'on s'attache à réunir, en les perfectionnant s'il y a lieu, toutes les dispositions susceptibles de réduire la consommation et beaucoup d'ingénieurs estiment que, tout au moins lorsqu'il s'agit des locomotives puissantes et rapides, le type le meilleur, pour l'économie du charbon en même temps que pour l'équilibrage des forces d'inertie, est la compound à quatre cylindres et à surchauffe ;

3° La machine locomotive conserve, d'une manière générale, l'échappement libre, utilisé pour le tirage ; mais cette fonction est notablement améliorée et la contre-pression réduite par l'emploi de dispositifs nouveaux, tels que l'échappement à trèfle, et, d'autre part, on tend à prélever une partie de la vapeur sortant des cylindres pour réchauffer l'eau d'alimentation, soit par l'emploi d'injecteurs à vapeur d'échappement, soit au moyen d'échangeurs de vapeur par surface ou de condenseurs par mélange, dont plusieurs systèmes sont à l'essai.

En ce qui touche le type de la chaudière, tout changement de quelque importance se heurte à des difficultés, à cause de la nature des eaux d'alimentation dont on dispose, ainsi que de l'outillage et des traditions des ateliers. Les essais tentés sans succès pour introduire dans la pratique des chemins de fer le système aquatubulaire n'ont pas été repris, du moins en France. M. Churchward mentionne, en Amérique, une

chaudière avec tubes d'eau auxiliaires (système Riegel).

Pour le chauffage du foyer de la locomotive, les quelques essais d'emploi du charbon pulvérisé auxquels il a été procédé n'ont donné jusqu'ici que peu de résultats; toutefois il se peut que la question n'ait pas dit son dernier mot.

Quant à l'emploi des combustibles liquides, tels que le mazout ou d'autres huiles lourdes, c'est exclusivement une question de possibilité d'approvisionnement à un prix convenable. Du seul point de vue technique, ces combustibles sont commodes, peu encombrants, simplifient la maintenance, etc. Mais, en France, à l'heure actuelle, leur emploi sur les chemins de fer est en général hors de cause.

Dans l'ordre des applications des combustibles liquides, une solution intéressante, comme aboutissant à un rendement de transformation de la chaleur en travail particulièrement élevé, serait la mise au point d'une locomotive avec moteur à combustion interne. Le problème de la locomotive à benzol est à l'étude. Il comporte toutefois de sérieuses difficultés, ne serait-ce qu'à cause de la constance du couple des moteurs de cette classe.

Dans tout ce qui précède, il s'agit des progrès, actuels ou futurs, de la traction au moyen de locomotives dont chacune est une machine thermique complète, brûlant un combustible qu'elle emporte avec elle : d'où une indépendance des trains et une souplesse du service, précieuse non seulement pour le trafic du temps de paix, mais aussi et surtout pour les nécessités éventuelles de la mobilisation et du temps de guerre.

L'électrification des lignes sacrifie cet avantage. D'autre part elle soulève, surtout dans la situation économique présente, de délicats problèmes financiers. Mais ce n'est pas ici le lieu d'envisager tous les aspects de la question. Bornons-nous, pour ce qui nous concerne, à en examiner les conséquences sous le rapport de la consommation de combustible pour la traction des trains.

Dans le cas où l'énergie électrique est fournie par des chutes d'eau, cette consommation se trouve totalement annulée. C'est la substitution de la houille blanche à la houille noire. A l'heure actuelle, nous n'avons en France que quelques chemins de fer de montagne qui soient ainsi exploités. Mais on sait que l'on projette d'électrifier et d'alimenter au moyen de centrales hydrauliques, sur les trois réseaux d'Orléans, du Midi et de Paris-Lyon-Méditerranée, les longueurs de lignes ci-après :

| RÉSEAUX | LIGNES | | | TOTAL |
|-----------------|-----------------|-----------------|------------|------------|
| | en exploitation | en construction | en projet | |
| | kilomètres | kilomètres | kilomètres | kilomètres |
| Orléans, | 3 100 | 50 | 200 | 3 350 |
| Midi, | 2 700 | 250 | 200 | 3 150 |
| P.-L.-M., | 2 350 | 50 | | 2 300 |
| Ensemble, .. | 8 050 | 350 | 400 | 8 800 |

D'après les prévisions, la réalisation complète de ce programme exigera vingt ans environ.

8 800 km. c'est à peu près un cinquième de l'étendue totale des réseaux français. D'une manière très sommaire et uniquement pour se rendre compte de l'ordre de grandeur des chiffres, on peut donc prévoir que, une fois l'opération achevée, on économisera chaque année environ un cinquième de la quantité de charbon qu'il faudrait consommer pour la traction sur les chemins de fer sans l'électricité. En suppo-

sant que cette quantité soit de 9 millions de tonnes, ce sera une réduction de 1 800 000 t dans la consommation annuelle de charbon.

Il est intéressant de remarquer que ce chiffre n'est ni plus ni moins que celui trouvé plus haut pour l'économie à attendre, dans l'exploitation actuelle par locomotives à vapeur, du retour à la consommation d'avant-guerre sur l'ensemble des six grands réseaux.

Le cas où l'énergie est fournie par des chutes d'eau n'est pas le seul à envisager. La question de la traction électrique sur les chemins de fer prend toute son ampleur quand on considère l'électricité comme susceptible d'être demandée, non seulement à des usines hydrauliques, mais concurremment ou non avec celles-ci, à des centrales thermiques.

Comment s'établit la comparaison, sous le rapport de la consommation de combustible, entre la traction électrique avec centrale thermique et l'exploitation au moyen de locomotives à vapeur ?

On connaît, d'une part, la quantité de charbon, de plus en plus réduite à mesure que l'art progresse, dont les centrales thermiques se contentent pour fournir le kilowatt-heure. Tenant compte des pertes, faciles à calculer, qui se produisent le long des lignes de transport des courants primaires à haute tension, dans les sous-stations de transformation et dans la canalisation secondaire, on est donc à même de savoir à combien de charbon brûlé à la centrale correspondra l'unité d'énergie fournie à la prise de courant de la locomotive électrique. Soit dit uniquement pour fixer les idées, ce serait, par exemple, 2 kg ou 1,4 kg par kilowatt-heure, selon que la centrale brûlerait 1,5 kg ou 1 kg de charbon par kilowatt-heure, dans l'hypothèse où les pertes seraient de 10 pour 100 dans la canalisation primaire, de 10 pour 100 aux sous-stations et de 10 pour 100 encore dans la canalisation secondaire jusqu'aux pantographes ou autres frotteurs.

D'autre part, sur une ligne et pour un service déterminé, l'expérience des ingénieurs de chemins de fer permet de prévoir avec une approximation assez sûre combien, dans le cas de la traction à vapeur, on consommerait moyennement de charbon par tonne kilométrique remorquée.

Le nœud de la question est donc de savoir, dans le cas de la traction électrique, combien il faut d'énergie, à la prise de courant des tracteurs, par tonne kilométrique remorquée.

Ce chiffre ne dépendant évidemment pas du mode de production de l'énergie, on dispose, pour le fixer, de toute l'expérience acquise sur les lignes alimentées par usines hydroélectriques. Malgré cette source d'information, il semble encore difficile, à l'heure actuelle, de donner des moyennes sûres applicables au cas d'un réseau étendu parce que les résultats constatés, sur des lignes dont la plupart sont d'un caractère assez spécial, diffèrent beaucoup selon le profil du chemin de fer, la nature du trafic et les conditions de l'exploitation.

C'est ainsi, par exemple, que, sur les chemins de fer à fortes et longues déclivités, les résultats de la traction électrique diffèrent grandement selon que les dispositions sont prises ou non pour freiner électriquement à la descente et pour récupérer dans la mesure du possible, par le moyen de ce freinage, le travail de la pesanteur.

On connaît les chiffres, exceptionnellement favorables, cités dans le mémoire de MM. Japiot et Ferrand sur la traction électrique aux Etats-Unis (*Annales des Mines*, livraisons d'octobre 1920 à mars 1921) comme obtenus sur le Chicago Milwaukee and Saint-Paul Ry, ligne traversant les Montagnes Rocheuses avec rampes de 20 mm. Dans cette exploitation, où le courant secondaire distribué aux tracteurs est du courant continu à 3 000 v et où il est fait usage de la

recupération par freinage électrique, la consommation d'énergie, mesurée aux points de livraison des courants primaires à haute tension par la Montana Power Co (par conséquent avant les sous-stations) a été trouvée égale à 29 watts-heure par tonne kilométrique remorquée. Cette moyenne est relative à l'ensemble des trains de toute nature. Elle se réduit à environ 27 ou 27,5 w-h, si l'on considère les trains de marchandises seuls. Mais ce sont là des chiffres extrêmes et il faudrait se garder de généraliser.

Voici un exemple plus proche de nous. Sur la ligne Paris-Invalides à Versailles, en 1920, le trafic correspondant à la traction électrique a été de 125 millions de tonnes kilométriques totales. On ne peut, pour cette ligne, distinguer de la tonne kilométrique totale la tonne kilométrique remorquée, parce que la traction y est faite par des voitures motrices portant des voyageurs. Le nombre de kilowatts-heure absorbés par les motrices s'est élevé à 4 800 000 et celui des kilowatts-heure fournis par les usines génératrices à 6 millions 650 000, ce qui fait, soit dit en passant, 28 pour 100 de perte entre le départ des usines et la prise de courant des motrices. La consommation d'énergie par tonne kilométrique totale a donc été :

A la prise de courant des motrices, 38 w-h ;

Au départ des usines génératrices, 53 w-h.

Un certain nombre d'autres exemples se trouvent cités dans l'intéressante suite de rapports sur la traction électrique, insérés de juillet 1921 à février 1922 au « Bulletin de l'Association internationale des Chemins de Fer », pour répondre à l'article 8 du questionnaire du neuvième congrès.

Sans prétendre tirer de ces divers renseignements des moyennes d'une application générale, imaginons, à titre de simple hypothèse, une ligne où la traction à vapeur exigerait 80 g de charbon et la traction électrique 40 w-h par tonne kilométrique remorquée, l'énergie étant mesurée à la prise de courant des motrices. Supposons, en outre, comme nous l'avons déjà fait, que, dans le cas de la traction électrique, il y ait 10 pour 100 de pertes dans chacune des canalisations primaire et secondaire et 10 pour 100 dans les

sous-stations de transformation, de telle sorte que, pour 40 w-h à la prise de courant des tracteurs électriques, il en faille 55 au tableau de la centrale. C'est 55 w-h fournis par la centrale effectuant le même service que la combustion de 80 g de charbon dans le foyer de la locomotive à vapeur ; il y a équivalence si la centrale consomme $\frac{80}{55}$ g de charbon par

watt-heure, autrement dit 1,450 kg environ par kilowatt-heure. Il suffit que sa consommation soit moindre pour que, dans le cas supposé, l'électricité prime la vapeur sous le rapport de l'économie de combustible.

Mais il faut se garder de perdre de vue que ce n'est là qu'un des côtés de la question et que la comparaison entre les deux systèmes de traction, au point de vue financier, ne peut s'établir qu'en tenant compte de l'ensemble des frais d'établissement et des charges de toute nature, tant d'entretien que d'exploitation.

« Plus s'avère la compétence d'un homme de chemin de fer en fait de traction électrique, écrit M. Ernest Gérard, dans son exposé au neuvième congrès, et moins il la considère comme susceptible de s'étendre économiquement à toute espèce de service sur toutes les lignes des grands réseaux. Le tracteur à vapeur gardera longtemps encore sa place dans l'exploitation des chemins de fer ». — C'est seulement après ce préambule que M. Gérard énumère les cas où l'électro-traction se montre avantageuse : régions où la houille blanche est abondante ; lignes à profil accidenté, à grand trafic, sur lesquelles la traction à vapeur exigerait un nombre élevé de locomotives pour des charges relativement réduites, lignes à longues rampes sur lesquelles la locomotive à vapeur s'essouffle ; cas des longs tunnels difficiles à ventiler ; cas des gares terminales saturées de trains suburbains.

Le vice-président de la Commission,
WALCKENAER.

Le Secrétaire,
LARCHENON.

Revue, analyses et informations

Quelques notes sur l'établissement des rhéostats liquides (1).

L'auteur se propose de déterminer les constantes de ce type de rhéostat et sa capacité probable. Le rhéostat liquide a d'assez nombreux avantages parmi lesquels il convient de noter, en premier lieu, la douceur de son fonctionnement due à la variation régulière de sa résistance. Les quelques inconvénients résultant de son emploi ont été peu à peu supprimés et il est maintenant appliqué au démarrage des plus gros moteurs. Son étude est liée à l'examen de phénomènes thermiques, de phénomènes chimiques et de phénomènes électriques. En ce qui concerne les phénomènes thermiques, la température limite est celle de l'ébullition du liquide : la quantité de chaleur dégagée dépend de l'intensité du courant qui traverse le liquide et de la tension aux bornes. L'effet chimique, au contraire, dépend seulement de l'intensité du

courant et les résultats pratiques peuvent être énoncés comme suit : l'électrolyte est en général décomposé ; une seule des plaques, celle constituant l'anode, est détruite ; le liquide est en général pollué par le métal attaqué chimiquement.

La décomposition de l'eau est accompagnée d'un dégagement de gaz qui peuvent former un mélange explosible dont l'inflammation se produit quelquefois à l'intérieur du liquide entre les plaques par suite d'une étincelle accidentelle, il peut en résulter des court-circuits assez violents. En général, les électrodes sont faites de fer et l'électrolyte est constitué par une dissolution de l'un des sels suivants : carbonate de sodium, chlorure de sodium, soude caustique ; le second est le plus corrosif des trois.

Le problème le plus important à résoudre est la recherche de la capacité de charge de l'appareil et l'auteur a entrepris une série d'essais pour permettre cette prédétermination : l'appareil représenté par la figure 1 montre l'un de ses dispositifs, pour courant alternatif ; l'électrolyte consistait en une solution de sel marin à 5 pour 100 ; les électrodes en fer

(1) W. WILSON, *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, février 1922, t. LX, p. 196-217, 17 000 mots, 20 fig.

étaient de forme carrée de 5 cm de côté et écartées l'une de l'autre de 6 mm environ. Dans ces conditions, le courant alternatif, à 25 p : s qu'il fut possible de faire passer atteignit 132 A sous 24 v; à ce régime, le liquide resta clair et

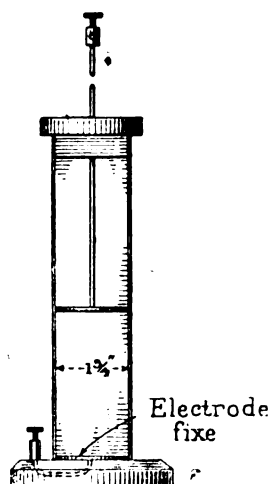
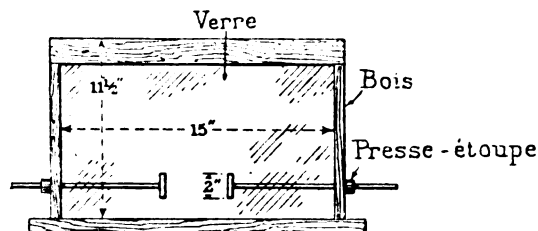


Fig. 1 et 2. — Bac en bois et tube en verre pour rhéostats liquides d'essais sur courant alternatif. 11 1/2", 15", 2", 1 3/4", dimensions en pouces (2,54 cm).

on ne put observer d'autre phénomène que l'échauffement; au début seulement, il y eut une légère production de gaz, que l'auteur croit pouvoir attribuer simplement à de l'air contenu en dissolution dans l'eau et conclut qu'il est possible de faire passer un courant de 500 A par décimètre carré; à 650 A par décimètre carré et sous 45 v, il y a production de vapeur à la surface des électrodes et cette production devient très grande à la densité de 1200 A sous 91 v; à ce régime, éclatent quelques arcs entre les plaques, provoquant de petites explosions, car les bulles de vapeur atteignent presque la surface du liquide avant d'être condensées. Le liquide devient jaune par suite de la présence du chlore libéré, mais ce gaz n'arrive pas à la surface; il fut possible de débiter ce courant seulement pendant trois minutes environ, car le verre du vase n'aurait pu résister à un essai plus prolongé.

La solution fut ensuite remplacée par de l'eau pure et l'appareil soumis à une tension de 600 v, soit 2400 v par inch (environ 1000 v par centimètre); avec un courant de 14 A correspondant à 8,40 kw, des bulles de vapeur se produisaient à la surface des plaques. Un autre dispositif d'essai est montré par la figure 2 et la courbe de la figure 3 exprime la variation de la tension entre les électrodes en fonction de leur écartement: la ligne représentative est sensiblement une droite, la densité de courant étant égale à 60 A par décimètre carré et la température étant maintenue constante. Il résulte des essais faits avec le courant alternatif que les

effets chimiques sont négligeables et que toute la résistance est due à l'électrolyte; si la chaleur pouvait être rapidement évacuée, des densités de courant atteignant 700 à 800 A par décimètre carré pourraient être utilisées sans inconvé-

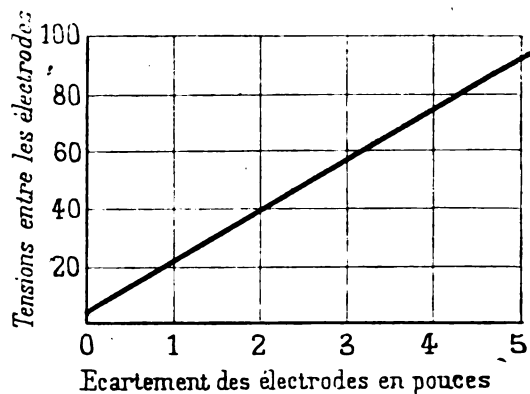


Fig. 3. — Variations de la tension entre électrodes d'un rhéostat liquide en fonction de l'écartement des électrodes; expériences réalisées avec l'appareil de la figure 2.

nient, la seule limite imposée à la densité de courant étant celle pour laquelle l'électrolyte est vaporisé entre les électrodes, car, à ce moment, il y a production d'un arc qui peut provoquer un violent court-circuit.

Le dispositif utilisé pour les essais en courant continu est montré par la figure 4; les plaques étaient distantes de

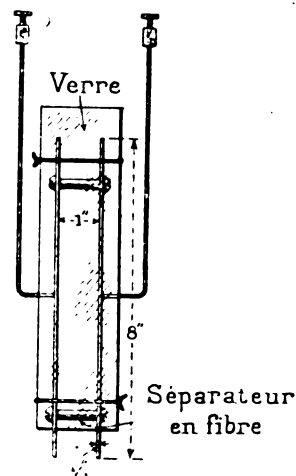


Fig. 4. — Electrodes pour l'essai des rhéostats liquides sur courant continu.

2,5 cm, leur face arrière étant vernie au four; l'électrolyte étant encore une solution de sel marin à 5 pour 100, le courant fut réglé à 320 A (650 A par décimètre carré). De grosses bulles de gaz se produisaient et allaient crever à la surface, mais il ne semblait pas possible qu'il pût en résulter la production d'un arc, car la suite des essais a montré que, même avec du courant continu, la densité de 500 A par décimètre carré pouvait être utilisée d'une manière permanente.

Les rhéostats de démarrage du type des figures 5 et 6 peuvent être adjoints à des moteurs jusqu'à 500 et 2000 ch, respectivement; il faut simplement déterminer les dimen-

sions de telle manière que la puissance dépensée pendant le démarrage n'élève pas trop la température de la masse totale, ce calcul est extrêmement simple et l'auteur en donne un exemple complet (en mesures anglaises).

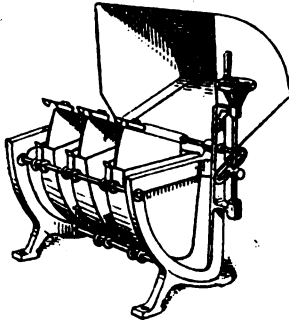


Fig. 5. — Démarreur liquide à plusieurs compartiments pour moteurs jusqu'à 500 ch.

Si l'on prend comme unité d'énergie le cheval-minute (ch-mn), on voit qu'il correspond à 736×60 joules ou $736 \times 60 : 4,18 = 10\,500$ calories (g-d). En remarquant, d'autre part, que la chaleur spécifique du fer est de 0,10 ca-

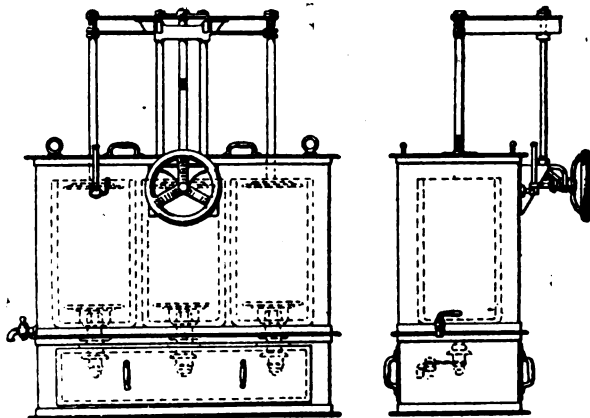


Fig. 6. — Démarreur liquide à poteries en terre représentées en trait pointillé, pour moteurs jusqu'à 2 000 ch.

lorie (g-d) : g : d et qu'il suffit, par conséquent, de prendre le dixième de son poids pour avoir son équivalent en eau, on voit que un demi-litre d'eau et 500 gr de fer élevés de 56°C comme on le tolère pour les rhéostats liquides absorberont $550 \times 56 = 30\,800$ calories, soit environ un cheval-minute. L'auteur donne comme exemple un appareil d'une capacité de 15 l et pesant 35 kg, capable, par conséquent, d'absorber $(15\,000 + 3\,500) 56 = 1\,036\,000$ calories, ou de 100 ch-mn environ.

Pour terminer le calcul des dimensions du démarreur, on suppose qu'un moteur ne dépense que la moitié de sa puissance pendant toute la durée du démarrage et que cette durée est évaluée à 1 mn pour 75 ch ; 1,50 mn, pour 200 ch et 2 mn, pour 600 ch, en sorte que, pour le premier type de moteur, le démarrage absorbera 37,5 ch-mn ; pour le deuxième, 150 ch-mn et pour le troisième, 600 ch-mn. Ces règles s'appliquent à des mises en route immédiates, répétées un nombre de fois fixé par les règles qui régissent cette matière ; mais pour les démarrages périodiques, c'est-à-dire

séparés par des pauses d'une durée de 10 ou 15 mn, par exemple, ce calcul élémentaire n'est plus applicable.

La solution complète du problème repose alors sur la remarque suivante : si l'on construit la courbe de refroidissement d'un appareil, c'est-à-dire la courbe des abaissements de température en degrés centésimaux, en fonction du temps exprimé en minutes, on constate que le rapport de deux ordonnées séparées par un intervalle de 10 mn est un nombre constant pour un appareil donné (0,942 pour celui essayé) et que l'auteur appelle coefficient de refroidissement. La température θ , au bout de t minutes, est donnée par la relation

$$\theta = T/K^{t/10};$$

représentons par S le rapport

Surface de refroidissement, en centimètres carrés.
Équivalent en eau de l'appareil, en litres.

et posons $t-K = cS$; c est une constante qui s'applique à tous les appareils, comme le démontrent les chiffres du tableau ci-dessous relevés sur deux modèles du type de la figure 6.

| | 1 | 2 |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Surface de refroidissement. | 7 943 cm ² | 5 337 cm ² |
| Équivalents en eau..... | 18,5 l | 21 l |
| S | 38,90 | 23,96 |
| Coefficient K | 0,911 | 0,942 |
| $c = \frac{1-K}{S}$ | 0,00229 | 0,00238 |
| | Moyenne 0,00234. | |

On peut considérer la concordance comme satisfaisante, surtout si l'on remarque que l'appareil n° 1 comprenait

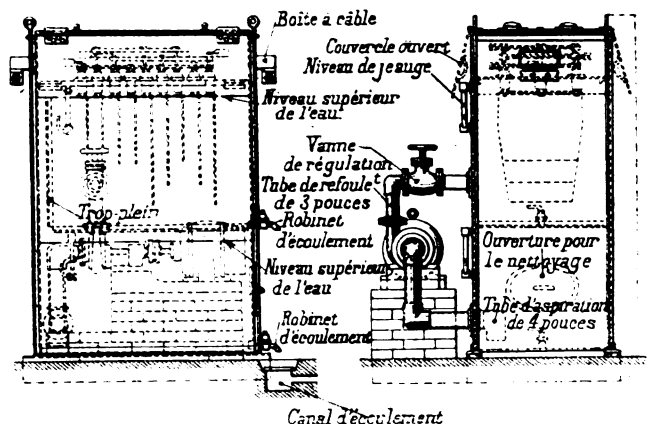


Fig. 7. — Rhéostat liquide à pompe centrifuge, prévu pour les moteurs alternatifs, d'une puissance supérieure à 3 000 ch.

trois compartiments dont les faces intérieures se masquaient mutuellement et pour la prédétermination du fonctionnement d'un appareil dont on connaît les dimensions, il suffira de poser $1-K = 0,00234 S$.

Lorsque le rhéostat doit être employé au démarrage d'un appareil présentant une grande inertie et, par suite, demandant

un temps relativement long, le calcul simple précédent ne peut plus s'appliquer et il convient de faire intervenir l'effet de la radiation de la chaleur par les parois de l'appareil;

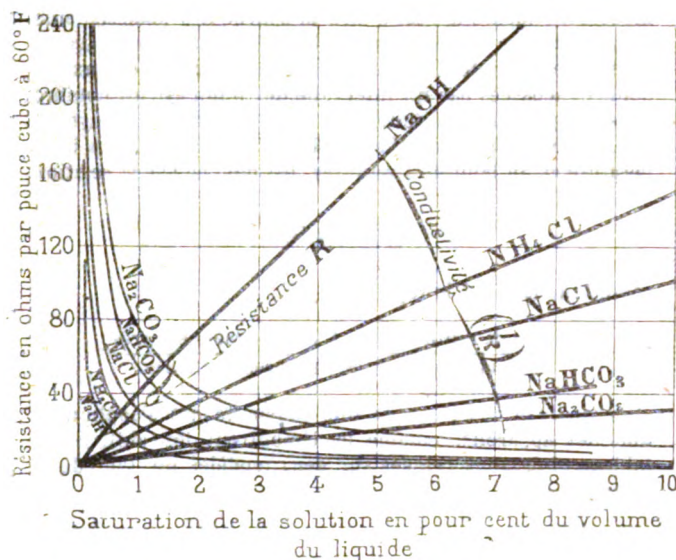


Fig. 8. — Résistances et conductances des solutions employées, en fonction de la concentration (60°F correspondant à 15°5 C.).

l'auteur indique la marche du calcul et arrive à l'équation classique qu'il est inutile de rappeler.

Dans tous les appareils décrits ci-dessus, la manœuvre des électrodes est toujours effectuée à la main, mais la figure 7 montre un dispositif très employé, où l'électrolyte est introduit dans le bac des électrodes par une pompe

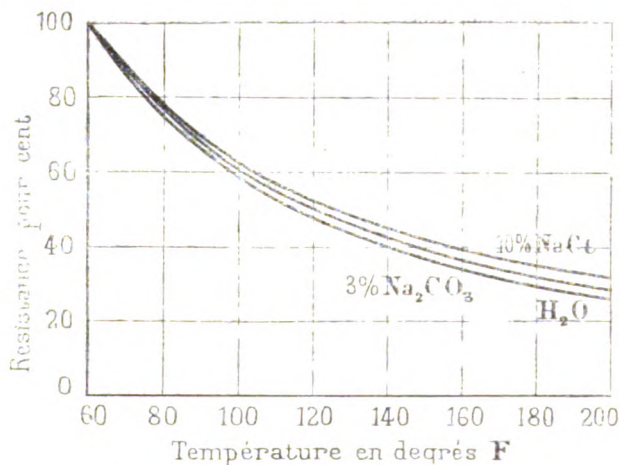


Fig. 9. — Variations de la résistance des électrolytes en fonction de la température. Degrés centigrades = $\frac{5}{9}$ (F-32).

centrifuge actionnée par un moteur électrique. L'auteur mentionne ensuite les régulateurs de glissement avec rhéostat liquide.

Les caractéristiques de l'électrolyte employé sont surtout intéressantes à connaître; la figure 8 donne des renseignements précis à ce sujet et ces derniers sont complétés par les courbes de la figure 9 qui montrent la variation de la

résistivité de l'électrolyte en fonction de la température. Comme les deux courbes tracées constituent la limite supérieure et la limite inférieure, on ne commettra pas une grande erreur en adoptant, pour tous les électrolytes, la courbe moyenne.

Au cours de la discussion, M. Sutton présente un rhéostat

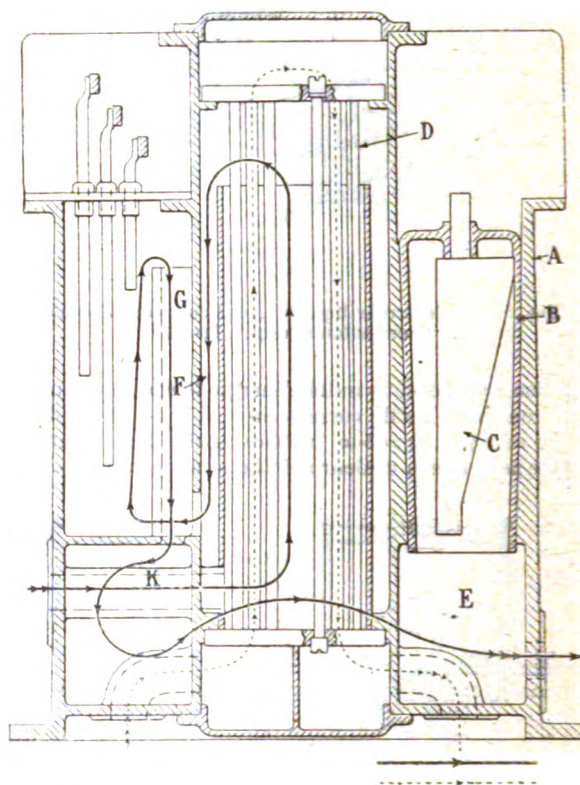


Fig. 10. — Démarreur liquide pour moteurs d'hélices. Le trait plein indique le sens de circulation de l'électrolyte; le trait pointillé, celui de l'eau de refroidissement.

liquide à refroidissement par eau (fig. 10) destiné au démarrage de moteurs actionnant les hélices de navires; la densité de courant adoptée dans ces appareils atteignait 350 a par décimètre carré.

E. B.

La capacité effective, la self-induction et la résistance des bobines ⁽¹⁾

C'est là un sujet des plus importants en radiotélégraphie. Les caractéristiques électriques d'une bobine parcourue par un courant à haute fréquence sont d'une nature complexe. Il n'est pas facile de définir ce que l'on entend par l'inductance et la résistance d'une bobine dans ces circonstances et, à ce propos, l'auteur signale que les définitions que l'on donne en général de la self-induction et de l'induction mutuelle ne sont pas satisfaisantes.

Considérons une bobine parcourue par un courant de haute fréquence et employée avec un condensateur variable pour former un ondémètre. La bobine a une certaine self-induction mesurée au moyen de courant continu ou de cou-

⁽¹⁾ HOWE, *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, décembre 1921, t. LX, p. 67-73. 5 400 mots, 5 fig.

rant alternatif de basse fréquence : si cette bobine est construite en fil fin isolé à plusieurs conducteurs, la distribution du courant sur sa section transversale ne sera pas changée quand la fréquence augmentera, de sorte que, si le courant dans chaque spire demeure inchangé, son inductance ne variera pas. En réalité chacun sait que, lorsque la fréquence augmente, le courant dans chaque spire ne reste pas le même, mais le courant au voisinage de la partie centrale de la bobine est plus grand que celui au voisinage des extrémités, en supposant que la bobine soit symétriquement placée par rapport à la terre et autres corps conducteurs. Ceci est dû à ce que l'on appelle la self-capacité de la bobine. Lorsque celle-ci est parcourue par un courant à haute fréquence, il existe une différence de potentiel alternative entre les extrémités de la bobine, et les changements dus à cette différence de potentiel entraînent des variations du courant le long de la bobine. On peut alors se demander : que devient la self-induction de la bobine dans ces conditions ? Toutes les définitions de la self-induction supposent que le courant est le même dans toutes les parties du circuit. L'auteur avait déjà, en 1912, décrit quelques expériences démontrant que l'on pouvait obtenir une approximation suffisante en supposant un condensateur connecté en parallèle avec la bobine, de sorte que la bobine réelle, avec sa capacité répartie et son courant non-uniforme, pouvait être remplacée par une bobine idéale, sans capacité répartie, et par suite ayant un courant uniforme, connectée en parallèle avec un condensateur. On pouvait s'étonner à priori de trouver que l'inductance à donner à cette bobine idéale était celle de la bobine en courant continu, et que la capacité supposée connectée en parallèle était constante et indépendante de la fréquence. Les expériences faites depuis ont démontré la parfaite exactitude de ces hypothèses.

Bien qu'il soit nécessaire pour des raisons pratiques de représenter la self-capacité par un condensateur connecté à travers les extrémités de la bobine, il semblerait plus logique, au point de vue physique, de la représenter par un condensateur connecté à travers deux points intermédiaires le long de la bobine, entre les centres de gravité, pour ainsi dire, des charges positives et négatives sur la bobine. En considérant la bobine comme un auto-transformateur, cependant, le condensateur à travers ces bornes imaginaires pourrait être remplacé par un condensateur équivalent de capacité plus faible connecté à travers les extrémités de la bobine.

Divers essais ont été faits pour calculer la fréquence naturelle d'une bobine d'après ses dimensions et pour trouver quelque explication mathématique du fait que la self-capacité est indépendante de la longueur d'onde. Ces essais ont été en général infructueux et les hypothèses faites en vue de simplifier le traitement mathématique ont le plus souvent été de nature à limiter très sérieusement l'application des résultats.

L'auteur cependant vient d'imaginer une méthode qui, dit-il, constitue un progrès sur ce qui a été fait auparavant, tant au point de vue des hypothèses admises qu'au point de vue auquel le problème est traité. Voici brièvement résumés la marche suivie et les résultats obtenus.

Nous avons vu qu'aux basses fréquences l'amplitude du courant est pratiquement la même en tous les points de la bobine, mais que l'amplitude au centre devient sensiblement plus grande qu'aux extrémités quand la fréquence augmente. Cette différence augmente avec la fréquence, jusqu'à ce que l'on atteigne une fréquence pour laquelle la bobine résonne si on la suspend dans l'espace sans connexions.

Dans ces conditions, le flux magnétique induit une force

électromotrice dans toute la bobine, flux dépendant de la forme, de la dimension et du nombre de spires, ainsi que de la distribution du courant le long de la bobine. Un quart de période après que le courant en chaque point a atteint sa valeur maximum, il y aura une distribution de charge le long de la bobine, dont le caractère sera précisément déterminé par la distribution du courant. Correspondant à cette distribution, en charge, il y aura une distribution de potentiel et une différence de potentiel résultante entre les extrémités de la bobine. Le courant étant nul à ce moment, la distribution électrostatique du potentiel doit exactement neutraliser la distribution de force électromotrice due au flux magnétique variable. Non seulement la force électromotrice totale doit être égale à la différence de potentiel électrostatique résultante, mais les charges et le courant doivent être répartis le long de la bobine de façon à ce que la neutralisation se fasse en chaque point.

Bien qu'il soit théoriquement possible de déterminer la distribution exacte à l'aide de ce fait, la réalisation pratique semble en être extrêmement difficile et nous sommes obligés d'adopter une méthode approximative. La courbe de distribution du courant le long de la bobine pourrait être représentée par une onde sinusoïdale fondamentale en même temps que par une série d'harmoniques impairs dont les amplitudes sont très faibles en comparaison de celle de l'onde fondamentale. Comme première approximation, nous supposons donc le courant réparti le long de la bobine selon une loi sinusoïdale.

Quand la fréquence est inférieure à la fréquence naturelle de la bobine, et que celle-ci est accordée sur cette fréquence inférieure au moyen d'un condensateur variable connecté à travers ses bornes, il circule un courant i_x aux extrémités de la bobine, et la distribution sinusoïdale du courant correspondant aux charges sur la bobine est superposée à une distribution uniforme de courant correspondant aux charges sur le condensateur extérieur.

L'hypothèse d'une distribution sinusoïdale du courant entraîne l'hypothèse d'une distribution cosinusoïdale de la charge le long de la bobine. Si la longueur de la bobine est b , et que la charge par centimètre de longueur à l'extrémité ait comme valeur maximum q , la charge totale sur chaque moitié de la bobine sera

$$\frac{2}{\pi} q \frac{b}{2} = \frac{bq}{\pi};$$

ceci doit être égal à l'excès du courant moyen au milieu de la bobine sur celui aux extrémités, multiplié par un quart de la période. Si i_m est la valeur maximum de cet excès de courant au milieu, et si $f = \frac{\omega}{2\pi}$ est la fréquence, on aura

$$\frac{bq}{\pi} = \frac{2 i_m}{\pi} \times \frac{1}{4f} \times 3 \times 10^9,$$

et

$$i_m = \frac{\omega}{\pi} bq \times \frac{1}{3 \times 10^9} \text{ ampères.}$$

Dans ces formules, tous les symboles représentent des grandeurs alternatives.

Le problème du calcul de la fréquence naturelle, ou de la fréquence correspondant à une telle distribution représentée en (a) et (b) figure 1, peut alors être posé de la façon suivante : à quelle fréquence la force électromotrice induite due au courant est-elle égale à la différence de potentiel électrostatique due aux charges ?

Pour déterminer la force électromotrice induite par le champ magnétique, il est nécessaire de trouver la force électromotrice induite dans la bobine entière par le courant dans un tout petit élément tel que celui qui est représenté figure 1.

Pour calculer la différence de potentiel entre les bornes de la bobine due aux charges, il faut tout d'abord déter-

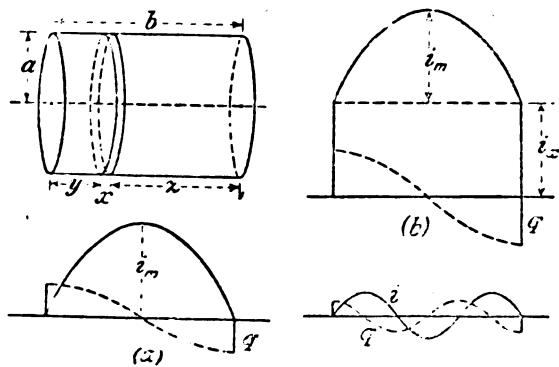


Fig. 1.

miner le potentiel en un point dû à la charge sur un anneau ou une section étroite de la bobine.

Nous renvoyons à l'article original pour ces deux calculs et nous nous bornerons ici à indiquer les résultats obtenus.

Des équations auxquelles il arrive, l'auteur tire la valeur ω^2 , d'où $\omega^2 / \lambda a$. Il vérifie que cette dernière expression, où a , rayon de la bobine, ne dépend que de la forme de la bobine et non de sa dimension ou du nombre de spires. Il vérifie également que la self-capacité effective C_s de la bobine, c'est-à-dire que la capacité que l'on peut supposer connectée à travers les bornes de la bobine pour remplacer la capacité répartie, ne dépend que du rayon et de la forme de la bobine, et qu'elle est indépendante de $\gamma = \frac{b}{a}$ et, par suite, de la fréquence.

Pour arriver à ce résultat l'effet des diélectriques autres que l'air a été négligé et l'on a supposé que le courant a une distribution sinusoïdale le long de la bobine.

Les valeurs de C_s pour différentes valeurs du rapport $\frac{b}{a}$ (rapport de la longueur de la bobine à son rayon) ont été calculées. L'auteur a trouvé les chiffres suivants :

| | $\frac{b}{a} = 1$ | $\frac{b}{a} = 2$ | $\frac{b}{a} = 3$ |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| C_s , en micro-farads... | 0,605 a | 0,614 a | 0,61 a |

On vérifie que la self-capacité varie peu avec la forme de la bobine et qu'elle est directement proportionnelle à son rayon pour une forme donnée.

Il était intéressant de déterminer les fréquences correspondant à diverses valeurs du rapport $\gamma = \frac{b}{a}$. L'auteur a trouvé que, pour une bobine telle que

$$b = 2a,$$

on obtient, pour différentes valeurs de γ , les valeurs de λ suivantes:

| | |
|---------------------|--------------------------------|
| pour $\gamma = 1$, | $\lambda_1 = 1,58 \lambda_0$, |
| — $\gamma = 2$, | $\lambda_1 = 1,99 \lambda_0$, |
| — $\gamma = 10$, | $\lambda_1 = 3,99 \lambda_0$. |

de sorte que, quand la longueur d'onde est quatre fois la longueur d'onde naturelle de la bobine, le courant au milieu est 0,1 fois plus grand que le courant extérieur.

On pourrait employer la même méthode pour calculer la self-capacité des divers types de bobines à plusieurs couches qui sont de plus en plus employées en radiotélégraphie à cause des grandes longueurs d'onde auxquelles on est arrivé et de la nécessité d'obtenir une grande self-induction dans un espace relativement petit. Mais le travail formidable qui impliquerait un tel calcul et le fait que le résultat obtenu ne tiendrait pas compte de l'effet des diélectriques employés dans la construction de la bobine, rend douteuse son utilité.

Au sujet de la résistance des bobines, l'auteur attire l'attention sur une étude très importante de M. S. Butterworth qui a établi une formule donnant la perte qui se produit dans un fil situé dans un champ magnétique non uniforme, et qui l'applique ensuite au calcul de la perte dans chaque spire d'une bobine à seize spires. Si une bobine étroite est divisée en quatre sections égales, on démontre que 93 pour 100 de la perte totale a lieu dans les sections extérieures et seulement 7 pour 100 dans les sections intérieures. Il ne faut pas croire, cependant, que les sections extrêmes ont une résistance effective plus élevée que celle des sections moyennes; c'est le contraire qui est vrai. Les fortes pertes dans les sections extrêmes sont dues dans une grande mesure à l'action de transformateur provenant des sections moyennes, ce qui accroît la résistance effective de ces sections. Les calculs de M. Butterworth sont, il est vrai, basés sur l'hypothèse d'un courant uniforme sur toute la longueur de la bobine, ce qui n'est plus vrai quand la fréquence se rapproche de la fréquence naturelle de la bobine. La distribution du flux magnétique devra donc être recalculée de façon à déterminer les pertes, qui, divisées par le carré du courant extérieur, donneront la résistance effective de la bobine dans ces conditions. — G. M.

Les essais au frein des turbines Kaplan de l'installation d'essais de turbines de la maison Storek de Brünn (1).

On connaît le principe de la turbine Kaplan qui été exposé dans le même journal n° 33 de l'année 1917 et qui a été construite et mise en service pour la première fois en 1919 par la maison Storek, de Brünn. Cette turbine tourne beaucoup plus vite que les anciennes et a un rendement indépendant, dans de très larges limites, du degré d'admission. Elle convient donc très bien pour les cours d'eau à débit très variable. Dernièrement les maisons Escher Wyss et Cie, de Zurich, Voith, d'Heidenheim, les Ateliers des Charmilles, à Genève et d'autres maisons allemandes se sont réunies à Brünn pour les essais de deux turbines de ce système. Pour la première, de 300 mm de diamètre, on a trouvé un rendement de 77 pour 100 pour une vitesse spécifique de 700 à 800 et un rendement de 73 pour 100 pour une vitesse spécifique de 1200 (ce nombre tours spécifique n_s est donné par la formule

$$n_s = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}}.$$

L'article décrit l'installation du laboratoire d'essais et donne une analyse des résultats obtenus. Il reproduit en particulier les courbes de rendement correspondant à différentes vitesses spécifiques et différents débits à vitesse constante. Pour la seconde turbine qui a 600 mm de diamètre, on a atteint un rendement de 82,8 pour 100 avec une vitesse spécifique de 600. — J. G.

(1) J. SLAVICK et P. WALTHER, *Elektrotechnik und Maschinenbau*, 8 janvier 1921, t. XL, p. 13-15, 2000 mots, 4 fig.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revue, analyses et informations

L'enseignement industriel en Algérie.

Du rapport sur le budget de l'Algérie pour l'année 1922, présenté par M. Georges BUREAU, député, à la séance du 23 décembre 1921 de la Chambre des Députés et publié dans le « Journal officiel » du 28 avril 1922, page 614 à 631 des « Documents parlementaires, Chambre », nous extrayons le passage suivant qui fait connaître l'état actuel de l'organisation de l'enseignement industriel dans notre colonie.

I. L'ORGANISATION ACTUELLE. — Si, jusqu'à ces derniers temps, les entreprises industrielles ont moins attiré les capitaux dans les colonies que les exploitations agricoles ou commerciales, elles sont pourtant nombreuses et importantes. C'est ainsi que, dès avant la guerre, les minoteries, les fabriques de tabacs, de pâtes alimentaires, les huileries, les ateliers de construction, les fonderies, les imprimeries, les usines d'engrais chimiques, les exploitations de mines et de carrières s'y étaient multipliés et que l'industrie du bâtiment y était particulièrement prospère. Depuis le retour à l'état de paix, la plupart de ces industries ont redoublé d'activité et des signes certains font prévoir une nouvelle extension des entreprises de cette nature. Des fabriques de pâtes à papier d'alfa, des raffineries de sucre de betterave, des savonneries, des ateliers de réparation pour les automobiles, les machines agricoles et les navires notamment, sont actuellement projetés ou en voie d'installation. Mentionnons encore les entreprises de transport par terre et par mer qui utilisent un nombreux personnel de mécaniciens et de chaudronniers. Déjà, à elles seules, les principales de ces entreprises occupent plus de 25 000 ouvriers.

Pour répondre aux besoins de l'industrie, l'Algérie, il faut le reconnaître, est moins bien outillée qu'en matière agricole et commerciale. C'est ce qu'une revue rapide des institutions existantes va permettre de constater.

Alger possède trois cours de préapprentissage créés par l'initiative privée, mais avec le concours financier de l'administration, qui préparent aux professions manuelles près de 500 enfants, européens et indigènes, la plupart élèves des écoles primaires.

Des cours d'apprentissage y ont, en outre, été créés par la Chambre de Commerce et sont suivis par 150 apprentis environ qui travaillent chez les industriels de la ville.

A Oran, des cours industriels fonctionnent également depuis de nombreuses années et y préparent des jeunes gens aux carrières de l'industrie. Il en est de même à Sidi-bel-Abbès, à Relizane, à Perregaux et à Bône, où une école manuelle d'apprentissage a été fondée par la municipalité. Citons encore l'école d'art industriel de la ville d'Alger, où l'on enseigne principalement le dessin à de nombreux jeunes gens des deux sexes qui se destinent à l'industrie ou qui veulent simplement acquérir une certaine habileté manuelle.

A un degré plus élevé, l'enseignement professionnel est donné dans les écoles primaires supérieures algériennes.

Dans toutes ces écoles, le travail du bois et du fer est organisé de manière satisfaisante.

En dehors de ces institutions, l'Algérie possède encore une école d'apprentissage, celle de Dellys. Créée en 1877 pour remplacer celle de Fort-National, brûlée pendant l'insurrection de 1871, elle fut tout d'abord destinée aux indigènes. Elle a été réorganisée en 1905 en vue de la formation d'ouvriers exercés français et indigènes, aptes à devenir de bons contremaîtres ou chefs d'ateliers. Les indigènes y forment une section distincte et reçoivent un certificat de sortie spécial après deux années d'études. Pour les Européens, la durée des études est de trois ans. Une centaine de jeunes gens sont admis dans cette école. La plupart des élèves deviennent des fonctionnaires techniques des ponts et chaussées, des chemins de fer, de la voirie départementale ou des tramways.

Par contre, il n'existe dans la colonie aucune école professionnelle du degré moyen ou supérieur. Il en résulte que tous les ingénieurs employés en Algérie sortent des écoles spéciales de la métropole.

En revanche, l'enseignement supérieur y est très suffisamment organisé grâce à l'existence de l'Institut technique de l'Université d'Alger. Cet institut, qui en est à ses débuts, a réuni un petit groupe d'étudiants, candidats aux postes supérieurs des services techniques de l'industrie.

II. LE PROGRAMME DE L'AVENIR. — Quelque intéressants que soient les efforts ainsi accomplis pour doter la colonie des institutions d'enseignement industriel nécessaires à ses besoins, l'œuvre réalisée présente encore des lacunes.

Cette situation n'a point échappé à l'administration algérienne. Sur sa demande, plusieurs commissions avaient été chargées, avant la guerre, de rechercher les moyens d'y remédier. S'inspirant de leurs travaux, la direction des services économiques du gouvernement général (agriculture, commerce et colonisation) a élaboré en 1918 un plan complet d'organisation de l'enseignement professionnel et technique qui a été publié dans une brochure intitulée « Programme d'organisation économique » et qui peut se résumer de la manière suivante :

Recrutement et préparation des futurs ouvriers. — Organisation dans les écoles primaires de cours d'orientation professionnelle, comprenant notamment le dessin géométrique et des notions de technologie, en vue de diriger les enfants vers les professions manuelles.

Création d'un comité d'orientation professionnelle en vue de la plus juste et plus utile répartition des enfants.

Installation d'ateliers élémentaires dans les écoles primaires des centres importants pour familiariser les jeunes élèves avec le maniement des principaux outils.

Création et développement des cours de préapprentissage dans les centres industriels.

Formation des ouvriers. — Création de cours complémentaires d'apprentissage dans toutes les villes et centres

importants avec le concours des groupements intéressés et des industriels locaux.

Encouragement aux écoles manuelles d'apprentissage déjà existantes.

Affectation plus spéciale de l'école de Dellys à l'apprentissage des indigènes.

Création, dans chaque département, d'écoles professionnelles du premier degré, dites écoles pratiques d'industrie, adaptées aux besoins régionaux.

Recrutement et formation des contremaîtres et chefs d'ateliers. — Développement de l'enseignement technique préparatoire dans les écoles primaires supérieures et augmentation du nombre de ces écoles.

Création à Maison-Carrée, à proximité de l'Institut agricole d'une école professionnelle du second degré, au moins analogue à celle de Voiron, dans laquelle seraient admis les sujets d'élite des écoles pratiques, et les élèves des sections techniques des écoles primaires supérieures.

Recrutement et formation des ingénieurs. — Les ingénieurs continueraient à être recrutés parmi les élèves des écoles techniques de la métropole. Aucune école de cette nature ne serait donc créée en Algérie.

Enseignement supérieur. — Il continuerait à être assuré par l'Institut de l'Université d'Alger qui recruterait ses auditeurs parmi les élèves de l'enseignement secondaire et ceux de l'école professionnelle de Maison-Carrée ou de la métropole qui désireraient perfectionner leur instruction.

L'intervention de l'Université dans l'exécution de ce programme est prévue :

1° Par l'organisation dans les écoles primaires de cours d'orientation professionnelle ;

2° Par la création de nouvelles écoles primaires supérieures et le développement de l'enseignement préparatoire technique dans ces établissements ;

3° Par les recherches et les travaux de laboratoire de ses professeurs en vue de la découverte de nouvelles industries ou de nouveaux procédés de fabrication ;

4° Par le fonctionnement des instituts techniques.

III — L'EXÉCUTION DU PROGRAMME. — Ajoutons que ce programme, pour la réalisation duquel 24 millions de francs ont été réservés sur les fonds de l'emprunt algérien, a déjà reçu un commencement d'exécution : des cours de préapprentissage et d'apprentissage ont été créés ou développés avec l'appui et les encouragements de l'administration.

De vastes emplacements ont été achetés par la colonie en vue de la construction prochaine de l'école professionnelle de Maison-Carrée et de l'école pratique d'industrie d'Alger. L'acquisition du terrain destiné à l'école pratique d'Oran est également en voie de réalisation.

À Constantine, les choses sont plus avancées encore. Le département a mis à la disposition du Comité local d'organisation les bâtiments de l'ancienne Ecole normale d'instituteurs pour y installer l'école pratique que l'on se proposait de créer dans cette ville. Des salles de cours et des ateliers pourvus de l'outillage nécessaire y ont été aménagés pour les besoins de l'enseignement qui comporte des cours d'orientation professionnelle, de préapprentissage et d'apprentissage. Dès l'ouverture de l'école, qui a eu lieu le 10 octobre dernier, près de 500 élèves ont répondu à l'appel des organisateurs. D'ores et déjà, et sous réserve des retouches et

des améliorations qui seront suggérées par l'expérience, on peut considérer cette institution comme répondant au programme que l'administration s'était tracé en ce qui concerne l'organisation de l'enseignement professionnel à Constantine.

IV. CONCLUSIONS. — Comme on le voit, la question de l'enseignement professionnel est suivie avec une attention particulière en Algérie et, si l'on en juge par ce qui existe déjà et par les projets en voie d'exécution, il est permis d'affirmer que, dans quelques années, le programme élaboré par l'administration algérienne sera entièrement réalisé. À ce moment, l'Algérie sera dotée d'une organisation que l'on pourra sans exagération qualifier de modèle, puisqu'elle sera conçue d'après les dernières données de l'expérience acquise en France et à l'étranger en cette matière.

Un tel résultat, il importe de le souligner, sera dû pour une large part à ce qu'en Algérie, par un heureux concours de circonstances, cette organisation de l'enseignement technique, aussi bien agricole qu'industriel et commercial, est du ressort d'une seule direction, celle qui a la charge des services économiques de la colonie, il en résulte que, non seulement le programme qui vient d'être exposé sera exécuté par ceux-là mêmes qui l'ont conçu, mais encore que ce programme répond exactement aux besoins économiques du pays.

C'est une grande satisfaction que de ne pas voir renaître en ce pays la querelle qui, si longtemps, a divisé, en France, les départements de l'Instruction publique et du Commerce et de l'Industrie. Sous l'action bienfaisante des assemblées financières algériennes, un accord parfait s'est en effet établi à ce sujet entre les deux services algériens de l'Instruction publique et de l'Agriculture, du Commerce et de la Colonisation. Comme on l'a remarqué plus haut, à l'Université incombera le soin de l'organisation de l'enseignement professionnel dans les établissements où l'enseignement général a la prépondérance : la direction de l'Agriculture, du Commerce et de la Colonisation — qui est en réalité la direction des services économiques — sera chargée des cours d'apprentissage et des établissements d'enseignement professionnel du degré moyen. Il n'y aura d'ailleurs que des avantages à ce que la liaison entre les établissements universitaires et professionnels soit assurée par une collaboration réciproque des inspecteurs de chaque catégorie d'enseignement.

Dans le même esprit, et comme le prévoit d'ailleurs le programme établi par la Direction de l'Agriculture, du Commerce et de la Colonisation, il est tout indiqué que les professeurs des facultés ou des principaux établissements d'enseignement général deviennent les collaborateurs des écoles de commerce ou d'industrie pour l'enseignement des sciences de leurs spécialités qui sont comprises dans le programme des écoles, comme ils le sont déjà pour l'Institut agricole de Maison-Carrée.

De l'Université relèveront, bien entendu, les instituts techniques dont la création viendrait à être jugée utile.

Grâce à l'entente rationnelle ainsi intervenue entre les services intéressés, on peut espérer que l'enseignement technique et professionnel, agricole, industriel et commercial sera organisé et dirigé avec une unité et une continuité de vues qui lui assureront rapidement un développement en continue harmonie avec les besoins de la colonie.

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Les actions distribuées gratuitement doivent-elles être considérées comme un capital ou comme un revenu ?

Lorsque les réserves d'une société deviennent importantes, elles sont parfois affectées à l'augmentation du capital social par la création d'actions nouvelles distribuées gratuitement aux possesseurs des actions anciennes. Les bénéficiaires de cette distribution doivent-ils considérer la valeur de ces actions comme une augmentation extraordinaire de leurs revenus pendant l'année où a eu lieu la distribution ?

La question a pris une importance considérable depuis l'établissement des impôts sur les revenus puisque, suivant la réponse qui y est faite, le montant des actions n'est pas ou est passible de ces impôts. Aussi est-elle très controversée et tandis que le ministre des Finances considère que la distribution d'actions gratuites constitue une distribution de revenus accumulés, par suite passibles de l'impôt, tandis que le Conseil de Préfecture de la Seine, s'appuyant sur la doctrine et la jurisprudence, la considère comme une augmentation du capital des bénéficiaires, par suite non passible des impôts sur les revenus.

Ces deux thèses ont été exposées par M. Pierre Bodin, dans « L'Information financière » du 27 avril 1922. Voici cet exposé.

LA THÉORIE DU MINISTRE DES FINANCES. — Le point de départ de l'argumentation du ministre des Finances se trouve dans la réponse à une question écrite posée par M. Etienne Lamy, député.

Les sommes mises en réserve par une société, avait demandé l'honorable député, doivent-elles être déclarées, pour l'impôt général sur le revenu, par les actionnaires de cette société ? »

Et le ministre avait répondu :

« La part des bénéfices d'une société par actions, qui est mise en réserve et dont par conséquent la distribution n'est pas autorisée, ne peut être considérée comme ayant été, à aucun moment, à la disposition des actionnaires et, par suite, il ne doit pas en être tenu compte dans la détermination du revenu servant de base à l'impôt général du personnellement par ces derniers.

« C'est seulement dans le cas où les réserves viendraient à être distribuées qu'elles entreraient dans le revenu imposable des actionnaires ». (*Journal officiel* du 6 décembre 1919 Débats parlementaires, Chambre, p. 14057).

Le principe de l'administration est ainsi nettement posé : les sommes affectées à des réserves ne sont imposables qu'au moment de leur distribution.

Il est donc parfaitement logique qu'à une question écrite posée par M. Chabert, sénateur, au sujet de distributions gratuites d'actions, le ministre ait répondu :

« Les prélèvements qu'une société anonyme effectue sur ses réserves pour les attribuer à ses actionnaires sous forme

d'actions nouvelles ont, au point de vue fiscal, le caractère d'une distribution de bénéfices. Dès lors, les sommes dont les actionnaires disposent, en pareil cas, sous forme d'actions, doivent être regardées comme un élément de leur revenu global de l'année au cours de laquelle l'attribution a été faite et être comprises dans leur déclaration relative à l'impôt général, sous la rubrique des revenus de valeurs et capitaux mobiliers. » (*Journal officiel* du 15 décembre 1920. Débats parlementaires. Sénat, p. 1910).

La raison de cette manière de voir est facile à saisir : étant donné que les bénéfices mis en réserve ne peuvent être imposés l'année où ils sont réalisés, il a paru indispensable au fisc, pour que ces bénéfices n'échappent pas à l'impôt, qu'ils soient imposés au moment de leur distribution effective. Et comme la création gratuite d'actions constitue incontestablement une distribution de réserves, il en résulte qu'il y a lieu, dans ce cas, à imposition.

LES INCONVÉNIENTS DE LA THÉORIE DU MINISTRE DES FINANCES. — Au point de vue pratique, la théorie de l'Administration des Finances peut évidemment se soutenir. Mais elle présente de graves inconvénients.

En premier lieu, lorsque des actionnaires ont acquis leurs titres peu de temps avant qu'il soit procédé à une distribution gratuite d'actions, ils ont payé ces titres un prix élevé qui tenait compte de la prospérité de l'entreprise et de l'importance de ses réserves. Ils ne réalisent donc, en fait, aucun bénéfice, par suite de l'attribution gratuite d'actions. Et cependant, ils devront payer l'impôt, alors que les véritables bénéficiaires, les actionnaires précédents qui leur ont vendu leurs titres avec une importante plus-value, s'en trouveront légalement exempts. Il y a là un véritable paradoxe.

En second lieu, les réserves affectées à la distribution d'actions peuvent remonter à une époque antérieure au 1^{er} janvier 1915, date à partir de laquelle les revenus sont passibles de l'impôt général. Et, dans ce cas, l'impôt se trouvera porter sur des revenus qui en sont légalement exempts ainsi que le ministre l'a d'ailleurs reconnu, à plusieurs reprises, dans des espèces différentes.

Enfin, la théorie administrative soulève cette question plus générale de savoir si, par le fait qu'ils ont été transformés en réserves, les bénéfices non distribués au moment de leur réalisation n'ont pas perdu le caractère de revenus pour acquérir celui de capital et ne se trouvent pas, par suite, hors d'atteinte de l'impôt.

LA THÉORIE DU CONSEIL DE PRÉFECTURE. — La doctrine et la jurisprudence considèrent en effet, d'une manière à peu près unanime, que les sommes affectées par les sociétés par actions à des réserves, constituent un accroissement du capital dans lequel elles se sont incorporées et que leur distribution a, par suite, le caractère non d'une répartition de bénéfices, mais d'un partage anticipé de l'actif social. (Aubry

et Rau, 5^e édit., t. II, p. 684, note 17 bis : Baudry-Lacantiniery et Chauveau, *Des biens*, 593 ; — Cour d'Appel de Grenoble, 20 mars 1876 ; — Cour de Cassation, Chambre civile, 5 février 1890 ; — Cour d'Appel de Paris, 4 avril 1901, etc.)

C'est de ces considérations, et de certaines autres relatives au caractère de l'impôt général, que s'inspire la décision du Conseil de Préfecture de la Seine du 22 novembre 1920, qui a jugé que les répartitions de réserves affectées à la souscription d'actions nouvelles n'étaient pas passibles de l'impôt sur le revenu. Cet impôt est, en effet, en vertu de l'article 6 de la loi du 15 juillet 1915, un impôt essentiellement personnel, comme l'a rappelé depuis l'arrêt du Conseil d'Etat du 28 janvier 1921 relatif à l'imposition des lots et, par suite, il ne doit pas atteindre les produits des actions et des obligations quels qu'ils soient, mais seulement les sommes qui ont le caractère de revenus, à l'exclusion, par conséquent, de celles qui sont prélevées sur les réserves incorporées à l'avoir social.

Conclusion. — La thèse du ministre des Finances est basée sur des considérations d'ordre pratique, ayant pour but d'assurer dans tous les cas l'imposition des bénéfices, qu'ils soient distribués immédiatement ou seulement après affectation temporaire aux réserves. Le fisc pourrait craindre, en effet, si sa manière de voir n'était pas admise, que certaines sociétés, dans le but de soustraire leurs actionnaires à l'impôt, prissent l'habitude d'affecter la plus grosse part de leurs bénéfices aux réserves et de ne les distribuer qu'ultérieurement.

La décision du Conseil de Préfecture est motivée par des arguments d'ordre juridique qui font abstraction de toute considération d'opportunité, mais qui n'en ont pas moins une valeur certaine.

Ce n'est, dès lors, que le Conseil d'Etat qui pourra trancher en dernier ressort la question et, dans les conditions où elle se présente, il est difficile de préjuger si ce sont les considérations d'ordre pratique ou les arguments juridiques qui l'emporteront.

Sur l'application de l'impôt sur les revenus des valeurs et capitaux mobiliers aux intérêts des dépôts des associés d'une société en nom collectif.

Le « Journal officiel » du 28 avril 1922 publie, page 1507 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse suivantes :

13841. — M. Niveaux, député, demande à M. le ministre des Finances si une société en nom collectif, se croyant de bonne foi exonérée de l'impôt de 10 pour 100 sur les intérêts des fonds portés au compte de dépôts des associés, en vertu de l'article 36 de la loi du 28 avril 1893, peut être dispensée d'acquitter la taxe arriérée exigible à raison des inscriptions d'intérêts en compte, en vertu de l'article 52 de la loi du 25 juin 1920, en justifiant qu'en fait, étant donné l'état de ses affaires, les intérêts portés au crédit des associés n'ont jamais été servis à ceux-ci et que le montant des comptes de dépôt aussi bien que celui des mises sociales sont couverts par un passif supérieur. (Question du 4 avril 1922.)

Réponse. — Aux termes de l'article 52 de la loi du 25 juin 1920, l'impôt édité par l'article 38 de la loi du 31 juillet 1917 sur les intérêts, arrérages et tous autres produits des créances, dépôts et cautionnements est dû par le seul fait, soit du paiement des intérêts soit de leur inscrip-

tion au débit ou au crédit d'un compte. Il résulte nettement de cette disposition que le seul fait de l'inscription d'intérêts au crédit d'un compte de dépôt entraîne immédiatement et ipso facto l'exigibilité de la taxe du revenu ; par suite, ladite taxe reste due alors même que les intérêts portés au crédit des associés n'auraient jamais été servis à ceux-ci et que le montant des comptes de dépôt serait absorbé par le passif social. Il convient de remarquer, d'ailleurs, que contrairement à ce que paraît penser l'honorable député, l'impôt est dans le cas exposé, non à la charge de la société en nom collectif, mais à la charge exclusive des associés déposants, nonobstant toute convention contraire (art. 40, 3^e, de la loi du 31 juillet 1917).

Sur la déclaration concernant l'impôt sur les traitements et salaires.

Le « Journal officiel » du 11 avril 1922 publie, p. 1474 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse suivantes :

12700. — M. Lemire (Nord), député, demande à M. le ministre des Finances, si un salarié passible de l'impôt sur les salaires est dans l'obligation de signaler au contrôleur des contributions qu'il ne reçoit pas sa feuille d'impôt. (Question du 25 février 1922.)

Réponse. — Les salariés ne sont astreints, pour l'établissement de l'impôt sur les traitements et salaires auquel ils sont susceptibles d'être assujettis, à l'accomplissement d'aucune formalité et ils n'ont pas, en particulier, à signaler au contrôleur qu'ils n'ont pas reçu d'avertissement touchant l'impôt envisagé. Mais, s'ils sont passibles de l'impôt général sur le revenu, ils doivent comprendre le montant net de leurs rémunérations dans la déclaration qu'ils sont tenus de souscrire pour l'assiette dudit impôt.

Sur la réglementation des tarifs de vente de l'énergie électrique

Le « Journal officiel » du 11 avril 1922 publie, page 1482 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

12988. — M. René Nicod, député, demande à M. le ministre des Travaux publics si une société détentrice du monopole de la fourniture de l'énergie électrique (force et lumière) sur le territoire d'une commune, en vertu d'un contrat antérieur à la loi du 15 juin 1906, contrat contenant une tarification considérée comme forfaitaire suivant l'interprétation adoptée par la société et homologuée par un récent jugement et qui a substitué, à un moment donné, des tarifs au compteur aux tarifs forfaitaires prévus au contrat, a le droit absolu d'augmenter lesdits tarifs au compteur sans aucune limitation légale possible ; ajoutant que, dans le cas où ce droit ne serait pas absolu, il serait utile, pour les consommateurs intéressés, de connaître les moyens légaux de résister à ce qu'ils considèrent comme des prétentions exagérées. (Question du 4 mars 1922.)

Réponse. — Lorsqu'un contrat de concession de distribution d'énergie dans une commune porte des tarifs forfaitaires, le concessionnaire n'a pas le droit de leur substituer des tarifs au compteur, sans un accord préalable avec l'autorité concédante, et, si des tarifs au compteur sont introduits dans le contrat par un avenant régulier, le concessionnaire ne peut dépasser les maxima fixés, à moins d'un nouvel accord avec l'autorité concédante. Les consommateurs intéressés ont le droit d'exiger la fourniture d'énergie aux conditions et tarifs maxima fixés par l'acte de concession ou par l'avenant ultérieur, le cas échéant, et, en cas de refus de la part du concessionnaire, ils peuvent demander aux tribunaux compétents la réparation du préjudice qu'ils en ont causé.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 24.

17 JUIN 1922.

Chronique. — A propos des chutes de tensions dans les réseaux triphasés non équilibrés, basse tension, avec fil neutre. — Société française des Electriciens. — Bibliographie : Cours hydraulique industrielle, par A. ROUTIN, p. 881-882.

Section scientifique et technique. — Sur la représentation graphique des tensions des conducteurs des transmissions d'énergie en fonction des portées, par H. CARPENTIER, p. 883. — Revues, analyses et informations : Théorie du champ intrinsèque d'un aimant et relation entre les propriétés magnétiques et ses propriétés électriques et thermiques caractéristiques, p. 888; Etude des pertes par frottements dans ses moteurs à combustion interne, p. 890; La constante diélectrique de quelques éthers à basse température, p. 890.

Section industrielle. — Ohmmètres et capacimètres à courant alternatif à lecture directe, par R. BARTHÉLEMY, p. 891. — Sur l'unification du matériel électrique, par J. MATHIVET, p. 894. — Les grandes unités des chaufferies modernes : la chaudière Ladd-Belleville, par C. RADIGUER, p. 897. — Revues, analyses et informations : Au sujet de la question de la mise à la terre du fil neutre, p. 906; Essais faits en 1907 par le Pennsylvania Railroad sur des locomotives électriques, p. 907; Chronographe électrique enregistrant, en chiffres, le temps au centième de seconde, p. 907; Appareil pour la dissociation rapide des images dans la cinématographie par étincelle électrique, p. 908.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Compagnie d'Électricité de Limoges (Compagnie centrale d'Eclairage et de Transport de Force par l'Électricité), p. 909; Énergie électrique du Sud-Ouest, p. 909.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation; Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices de guerre et de l'impôt sur les bénéfices commerciaux, p. 911; Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires aux affaires traitées en participation, p. 911; Loi modifiant la loi du 2 juillet 1919 instituant le règlement transactionnel, p. 911; Circulaire concernant le recouvrement de l'impôt sur les salaires par les patrons, p. 912; Loi modifiant l'article 14 de la loi du 18 décembre 1915, sur les sociétés coopératives ouvrières de production et le crédit au travail en France, p. 912.

A propos des chutes de tension dans les réseaux triphasés non équilibrés, basse tension, avec fil neutre. — Nous recevons de M. L.-G. Stokvis, administrateur-directeur de la Société d'Outillage mécanique et électrique la lettre suivante au sujet de l'article de M. A. Barraud (*R. G. E.*, 3 juin 1912, t. XI, p. 811-813) et sa controverse avec M. J. Godin, à propos de l'étude qui a été publiée antérieurement (*R. G. E.*, 14 janvier 1922, t. XI, p. 43-48):

La question d'une charge déséquilibrée d'un réseau triphasé avec ou sans point neutre, par la méthode graphique comme par la méthode algébrique, se trouve résolue par J.-L. Lacour et O.-S. Bragstad dans le premier tome de Arnold (*Die Wechselstromtechnik*, p. 294-311),

Le cas le plus compliqué, où il n'y a pas de point neutre, a été traité par Kennelly dans « *Electrical World and Engineer* » 1899, page 268.

La question de la charge non équilibrée d'un réseau se trouve donc résolue depuis de nombreuses années, et la théorie générale donnée par Kennelly et Arnold est tellement explicite, que tout calcul peut s'en déduire facilement.

Il en est tout autrement du calcul des génératrices chargées inégalement. Par suite de l'enchevêtrement des champs tournants, la solution est beaucoup plus malaisée. Arnold a tâché de résoudre cette question dans son ouvrage men-

tionné ci-dessus, mais il part d'un principe non exact : il identifie les phases d'une génératrice avec les phases d'un réseau ; donc il admet la constance de la résistance ohmique et de la réactance dans la génératrice. Ceci ne se réalise pas, les résultats obtenus ne sont que très approximatifs et ne rendent pas compte des phénomènes qui se déroulent en réalité dans la machine et qui sont des plus intéressants.

D'ailleurs, Arnold ne donne pas sa solution comme définitive, mais plutôt comme un moyen de s'approcher des résultats à défaut de mieux. Il ne faut pas additionner les constantes de la génératrice aux constantes du réseau et la traiter comme réseau, mais au contraire, additionner les constantes du réseau à celles de la génératrice et la traiter comme génératrice.

Ce sujet fait l'objet de mon étude écrite en 1913-1914, dont le manuscrit fut cru perdu pendant la guerre et que vous voulez bien accepter de publier dans votre Revue. J'ai toutefois relevé quelques résultats intéressants qui ont été présentés à l'Académie des Sciences (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1914, t. CLIX, p. 46 et 29 mai 1922, t. CLXXIV, p. 48) ⁽¹⁾.

Je me permets d'attirer votre attention sur un court article, publié dans « *Electrical World* » du 1^{er} mai 1916, page 112, et qui permet de traiter, en faisant usage des

⁽¹⁾ Un compte rendu de ces communications sera publié dans un prochain numéro *R. G. E.*

méthodes de Kennelly et de Arnold, qui sont supposées connues, les questions que MM. Barraud et Godin se sont posées.

L.-G. STOKVIS.

Docteur ès sciences, ingénieur I. E. L.

Société française des Electriciens. Séance du 7 juin 1922. — La première communication présentée, à cette séance, fut faite par M. Louis JOLY et avait pour titre : « Ampèremètre électrodynamique à shunts, boîte de contrôle électrodynamique et électrodynamètre à shunts ».

Généralement, jusqu'ici, les ampèremètres électrodynamiques étaient établis en mettant en série, avec le circuit de champ de l'appareil parcouru par le courant principal, un shunt aux bornes duquel est branché le circuit du cadre de l'appareil. Dans le nouvel appareil construit par la maison Carpentier et présenté par M. Joly, le circuit de champ est monté en dérivation sur le même shunt que le circuit du cadre mobile. Pour abaisser la constante de temps des circuits dérivés et le coefficient de température, ordinairement assez élevés dans les appareils électrodynamiques, une résistance en manganin est montée en série sur chacun des circuits de champ et du cadre mobile. De plus, pour compenser pratiquement l'influence de la température, le circuit du cadre mobile est shunté par une résistance de nickel. L'instrument ainsi construit peut être utilisé pour la mesure d'intensités variant dans de larges limites en changeant le shunt. Le conférencier donna quelques résultats d'essais montrant que les indications de l'appareil sont peu sensibles aux variations de température et de fréquence. Le même instrument peut être utilisé pour le courant continu et le courant alternatif.

Des boîtes de contrôle ont été établies contenant un volt-mètre et un ampèremètre sur shunts. L'ampèremètre pouvant être utilisé pour la mesure des puissances.

D'autre part, la maison Carpentier a construit un appareil électrodynamique qui peut servir à la fois à la mesure des tensions, des intensités et des puissances. Une fois les connexions faites, un commutateur permet d'effectuer à volonté l'une des trois mesures sans avoir à modifier en rien ces connexions.

Les consommations de ces appareils sont relativement très faibles, ce qui fait qu'ils sont appelés à rendre industriellement les plus grands services.

Dans la deuxième communication sur « les théories électriques de la matière », présentée par M. Marcel BRILLOUIN, le nouveau président de la société, l'orateur fait un exposé des travaux accomplis par des physiciens étrangers, en particulier, Butherford, Bohr, Born et Landé pour établir une théorie constitutive des corps et en particulier des solides en partant des propriétés électriques.

Le conférencier montra qu'une théorie de la constitution des corps peut être établie en partant des électrons, des quanta, des équations de Maxwell et de la loi des attractions. Les quanta servent, en particulier à la détermination des dimensions.

M. Marcel Brillouin donna ensuite quelques indications sur l'atome planétaire de Rutherford-Bohr, sur les théories électronique de la valence, sur la constitution électrique des solides. Il montra comment on pouvait à l'aide de ces nou-

velles théories retrouver les propriétés mécaniques des corps en partant de leurs propriétés électriques.

Il termina en faisant voir l'importance technique et pratique que pourrait avoir l'établissement d'une théorie précise, qui certainement sera établie dans un temps plus ou moins rapproché.

A la suite de la très intéressante communication de M. Marcel Brillouin, M. LARTIGUE fit un court exposé des travaux auxquels il s'est livré et qui lui ont permis de retrouver par une autre voie une partie des résultats obtenus par des physiciens étrangers. — H. C.

Bibliographie. — **Cours d'hydraulique industrielle.** professé à l'Institut Polytechnique de Grenoble, par A. ROUTIN, ancien élève de l'Ecole Polytechnique. Ingénieur-conseil aux ateliers Neyret-Beylier et Pictet (1). Tous les lecteurs de la « R. G. E. » connaissent l'importante contribution apportée par M. G. Routin, tant à la théorie qu'à la technique des turbines hydrauliques. C'est dire l'intérêt de l'ouvrage mentionné ci-dessus ; quoique son auteur ait modestement cru devoir prévenir le lecteur que son travail ne contenait que les notes résumées du cours qu'il professe à Grenoble, ce livre n'en est pas moins une étude complète et détaillée des machines hydrauliques qui, remplaçant un ouvrage similaire publié il y a quelques années par le même auteur, vient combler, par des renseignements au courant des derniers perfectionnements, une lacune importante de notre littérature technique.

Le livre commence par des indications sommaires sur l'organisation générale d'une chute d'eau, afin de donner des indications succinctes, mais claires et précises, sur les conditions d'emploi des machines qui vont être décrites.

Vient ensuite la théorie générale des turbines qui, exposée avec un appareil mathématique très simple, donne de façon détaillée tous les renseignements utiles pour bien comprendre le fonctionnement de ces machines, ainsi que les pertes d'énergie qui s'y produisent.

Elle est suivie d'une étude des divers types de turbines, plus détaillée pour les roues Francis et Pelton plus généralement employée aujourd'hui, mais qui n'omet pas les autres types que l'on rencontre encore dans beaucoup d'installations : un point à signaler particulièrement est celui du tracé des aubes, sur lequel il est si difficile d'avoir des indications précises et que M. Routin, fort de sa longue expérience, expose de façon complète. Cette partie se termine par la théorie des turbines semblables, connues depuis longtemps, mais que M. Râteau, il y a une vingtaine d'années, a si merveilleusement mise en lumière par l'emploi des coefficients de vitesses ; M. Routin en déduit l'étude de la fonction caractéristique qui permet de déterminer d'une manière simple et sûre le type de turbine convenant le mieux à chaque installation.

Enfin vient la question primordiale, mais complexe, de la théorie de la régularisation de la vitesse. M. Routin lui a donné une forme très simple qui permet au lecteur de suivre facilement tant les méthodes modernes d'étude de cette question que les réalisations pratiques auxquelles elles ont donné lieu. Cette partie, traitée d'une façon personnelle, est à signaler particulièrement, car elle permet de bien se rendre compte et des difficultés du problème et des solutions ingénieuses qui lui ont été données.

En résumé, ce livre, du plus haut intérêt, est indispensable à la fois pour les ingénieurs qui, ayant à utiliser des turbines, veulent en faire en connaissance de cause, et pour ceux aussi qui veulent étudier ces machines dans tous leurs détails. — D. E.

(1) Un volume, 26 cm x 17 cm, de 292 pages, 202 fig., édité par Albin Michel, 22, rue Huyghens, Paris XIV^e. Prix : 25 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Sur la représentation graphique des tensions des conducteurs des transmissions d'énergie en fonction des portées

Dans cette note l'auteur étudie plus particulièrement la tension des conducteurs de lignes aériennes et la représentation graphique de cette tension. Il fait ressortir l'importance de la notion de « portée critique », portée pour laquelle la tension conserve la même valeur pour deux états différents de charge et de température.

Pour passer d'un état I défini par la température θ_1 , en degrés centésimaux, la tension T_1 , en kilogrammes, la charge p_1 , en kilogrammes par mètre de conducteur à un état II défini par la température θ_2 , la tension T_2 et la charge p_2 , on est amené à résoudre l'équation

$$T_2^2 \left[T_2 + \frac{Sp_1^2}{24\epsilon} \frac{l^2}{T_1^2} + \frac{Sx}{\epsilon} (\theta_2 - \theta_1) - T_1 \right] = \frac{Sp_2^2}{24\epsilon} l^2, \quad (1)$$

dans laquelle S désigne la section du conducteur en millimètres carrés; α , le coefficient de dilatation linéaire du métal employé; ϵ , l'inverse du module d'élasticité $\epsilon = \frac{1}{E}$; l , la portée en mètres.

Cette équation du troisième degré en T_2 se résout facilement soit par approximations successives, soit par la méthode de Cardan, soit à l'aide d'abaques.

Il est souvent intéressant de représenter graphiquement les variations des tensions de conducteurs en fonction des portées, car, dans la construction d'une ligne, toutes les travées ne sont généralement pas égales. Pour cela, il est commode de recourir à la notion de portée critique.

Nous définissons *portée critique* entre deux hypothèses de charges p_1 à θ_1 et p_2 à θ_2 , la portée pour laquelle les deux tensions T_1 et T_2 sont égales.

Si nous désignons cette portée critique par x , l'équation (1) en donne immédiatement la valeur

$$x = \sqrt{\frac{24\alpha x (\theta_2 - \theta_1)}{p_2^2 - p_1^2}} \times T, \quad (2)$$

T étant la valeur commune à T_1 et T_2 .

D'une façon plus particulière, si l'on envisage la circulaire ministérielle du 30 juillet 1921 qui fixe, en France, les conditions du calcul des conducteurs des transmissions d'énergie, les deux états de charges sont définis par :

Hypothèse A. — Température moyenne de la région avec vent horizontal exerçant une pression de

120 kg : m² de surface plane ou 72 kg : m² de section longitudinale des pièces à section circulaire.

Hypothèse B. — Température minimum de la région avec vent horizontal exerçant une pression de 30 kg : m² de surface plane, ou 18 kg : m² de section longitudinale des pièces à section circulaire.

La portée critique est définie par

$$x = \sqrt{\frac{24\alpha x (\theta_2 - \theta_1)}{72^2 - 18^2}} \times \frac{T}{d}, \quad (2bis)$$

d étant le diamètre du conducteur en millimètres.

Pour les portées plus petites que x , l'hypothèse B est la plus défavorable. On choisit donc pour ces portées l'hypothèse B, comme état I dans lequel T_1 est fixé par le coefficient de sécurité imposé. L'équation (1) permet de passer à l'état II, correspondant à l'hypothèse A.

Pour les portées plus grandes que x , l'hypothèse A est la plus défavorable. On choisit donc pour ces portées l'hypothèse A comme état I dans lequel T_1 est le

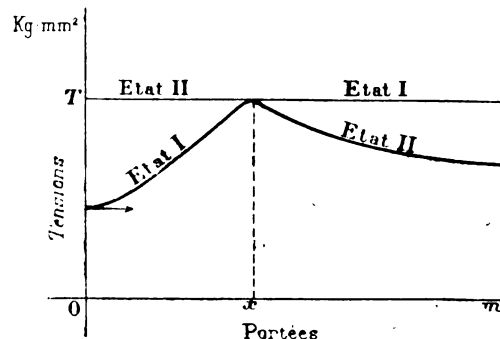


Fig. 1.

même que précédemment. L'équation (1) permet alors de passer à l'état II qui correspond à l'hypothèse B.

La représentation graphique se traduit alors par l'ensemble des courbes de la figure 1 ci-annexée, dont l'allure peut sembler bizarre à première vue.

Cette allure se justifie par une étude mathématique de la fonction $T = f(l)$

Revenons à l'équation (1) et posons

$$\begin{aligned}\frac{S}{2,4 \varepsilon} &= a, \\ \frac{Sx}{\varepsilon} &= b, \\ \theta_2 - \theta_1 &= \theta, \\ T_2 &= y, \\ l &= x,\end{aligned}$$

il vient

$$y^2 \left[y + a \frac{p_1^2}{T_1^2} x^2 + b\theta - T_1 \right] = a p_2^2 x^2, \quad (1bis)$$

fonction du quatrième degré. La courbe passe par l'origine, car, pour $x = 0$, on a $y = 0$.

L'ensemble des termes de plus bas degré est

$$y^2 [b\theta - T_1] - a p_2^2 x^2 = 0.$$

Cette équation montre que l'origine est un point double isolé; car les racines sont imaginaires, étant donné que, dans l'étude qui nous intéresse, $b\theta - T_1 < 0$.

La courbe représentée par l'équation (1 bis) n'est donc pas unicursale; par suite, la seule méthode commode pour son étude est la méthode des régions.

Les coefficients angulaires des directions asymptotiques sont déterminés en égalant à 0 l'ensemble des termes du plus haut degré de l'équation (1 bis). Donc

$$ax^2 y^2 \frac{p_1^2}{T_1^2} = 0,$$

ce qui donne deux asymptotes définies par

$$y = \pm \frac{p_2}{p_1} \times T_1,$$

en égalant à zéro les termes du plus haut degré en x .

On voit facilement que la courbe ne rencontre jamais ces asymptotes. Enfin, on déduit immédiatement de (1 bis) que la courbe sera symétrique par rapport à OY, car en y remplaçant x par $-x$, l'équation ne change pas.

L'équation (1 bis) nous permet de diviser le plan en huit régions (fig. 2) définies par les intersections des courbes

$$y^2 = 0 \quad \text{axe des X.} \quad (3)$$

$$y + a \frac{p_1^2}{T_1^2} x^2 + b\theta - T_1 = 0 \quad \text{parabole.} \quad (4)$$

$$a p_2^2 x^2 = 0 \quad \text{axe des Y.} \quad (5)$$

La parabole passe par les points

$$\begin{aligned}y &= T_1 - b\theta, \quad x = 0, \\ x_1 &= -\sqrt{\frac{T_1 - b\theta}{a \frac{p_1^2}{T_1^2}}}, \quad y_1 = 0, \\ x_2 &= +\sqrt{\frac{T_1 - b\theta}{a \frac{p_1^2}{T_1^2}}}, \quad y_2 = 0.\end{aligned}$$

Le second membre de l'équation (1 bis) étant toujours positif, il ne pourra y avoir de points de la

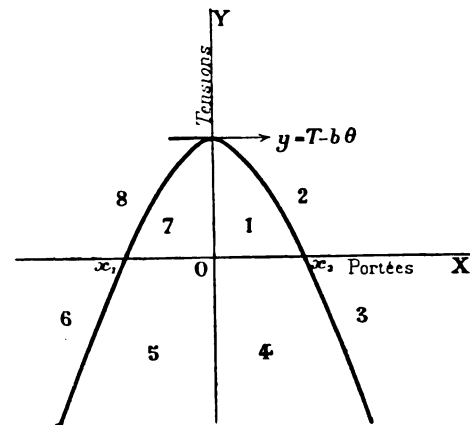


Fig. 2.

courbe à l'intérieur de la parabole (4). La courbe est maintenant facile à construire (fig. 3). Toutefois, il faut remarquer que sa forme variera avec les valeurs relatives de

$$T_1 - b\theta \quad \text{et} \quad \frac{p_2}{p_1} \times T_1.$$

Enfin, on voit en comparant (1 bis) et (4) que la courbe cherchée est asymptotique à la parabole (4).

On peut voir qu'au point $y = T_1 - b\theta$ la tangente est horizontale, car $p_x = 0$. En déterminant la hessienne, on trouverait la position exacte des deux points d'inflexion. Cette détermination très longue n'est guère utile, la courbe étant suffisamment précisée par ce que nous en avons dit.

Dans l'étude des tensions de conducteurs, les valeurs positives de x et y sont seules intéressantes à retenir. D'où les deux formes possibles indiquées sur la figure 4.

Nous allons montrer que la courbe (I) correspond aux tensions déterminées en partant de l'hypothèse A comme plus défavorable, et que la courbe (II) correspond aux tensions déterminées en partant de l'hypothèse B.

En effet, soient :

Hypothèse A. — Etat I défini par p_1, θ_1, T_1 ;

Hypothèse B. — Etat II défini par p_2, θ_2, T_2 .

On a donc $\theta = \theta_2 - \theta_1 < 0$; et $p_1 > p_2$.

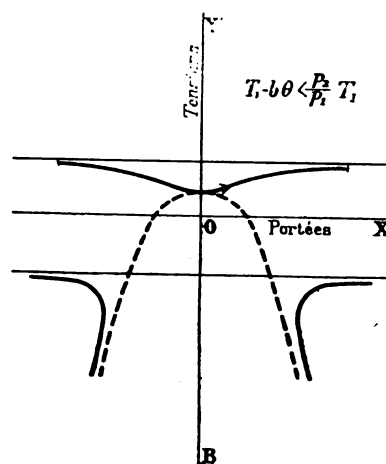
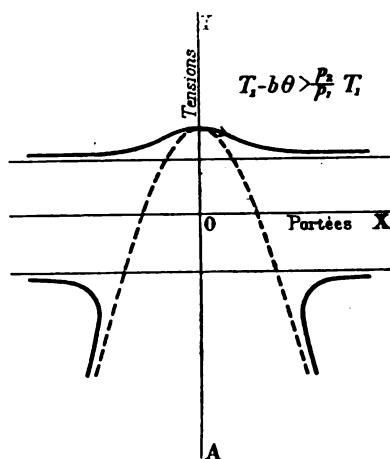
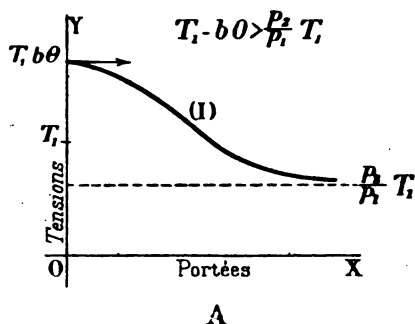


Fig. 3.

Posons $\theta = -\theta'$, donc $\theta^2 > 0$.

$$\frac{p_2}{p_1} T_1 < T_1 ; \quad T_1 - b\theta = T_1 + b\theta' > T_1,$$



d'où la courbe (I) de la fig. 4. A.

Soient maintenant :

Hypothèse B. — Etat I défini par p_1, θ_1, T_1 ;

Hypothèse A. — Etat II défini par p_2, θ_2, T_2 .

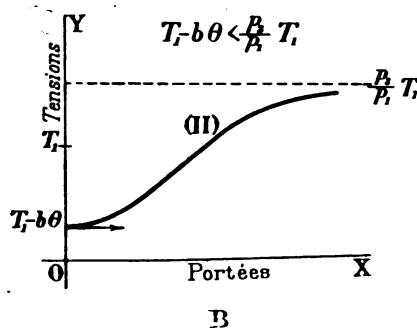


Fig. 4.

Alors $\theta = \theta_2 - \theta_1 > 0$, égal en valeur absolue au précédent ; $|\theta| = |\theta'|$

$$p_1 < p_2 ; \quad \text{donc} \quad \frac{p_2}{p_1} T_1 > T_1,$$

$$T_1 - b\theta = T_1 - b\theta' < T_1 ;$$

d'où la courbe (II) de la fig. 4. B.

Dans ces deux cas, $T_1 + b\theta'$ et $T_1 - b\theta'$ sont symétriques par rapport à T_1 , mais il n'en est pas de même pour les $\frac{p_2}{p_1} T_1$, et en réunissant les deux figures, nous obtenons la figure 5.

Le règlement ayant, par ses coefficients de sécurité, imposé la limite T_1 , une seule partie de cette courbe nous intéresse, c'est celle que nous représentons en double trait. Les courbes $T = f(l)$ présentent donc un point anguleux dans tous les cas, mais ce point anguleux n'est pas un point singulier ; il provient simple-

ment de l'intersection de deux courbes, une partie étant négligée pour chacune d'elles.

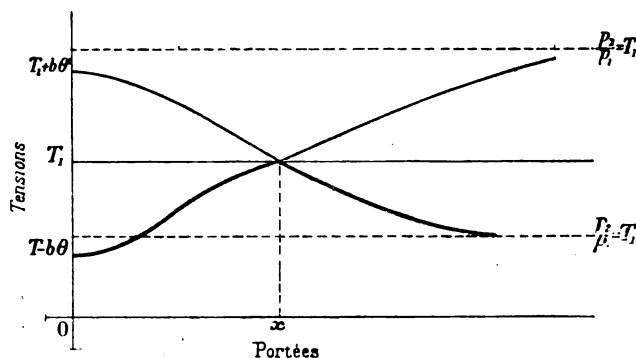


Fig. 5.

Nous avons supposé jusqu'ici $b\theta - T_1 < 0$ et c'est ce qui se présente généralement. Toutefois, il peut se

faire que le coefficient de sécurité soit suffisamment grand (par exemple dans la traversée d'une voie ferrée), ou bien que l'écart de température soit suffisamment grand pour que l'on ait

$$\text{soit} \quad b\theta - T_1 = 0,$$

$$\text{soit} \quad b\theta - T_1 > 0.$$

Dans le premier cas, $b\theta - T_1 = 0$, l'ensemble des termes de plus bas degré se réduit à

$$-a\rho_2^2 x^2 = 0,$$

par suite, l'axe OY est tangent à la courbe et l'origine est un point de rebroussement.

La fonction est alors représentée par la courbe de la figure 6.

On voit aisément que l'on ne pourra réaliser la con-

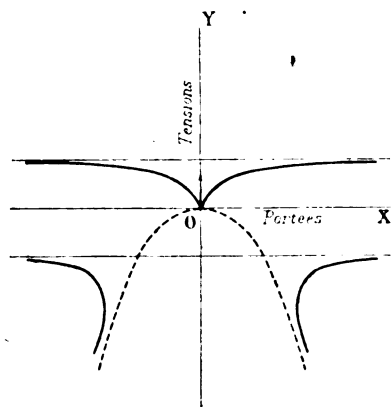


Fig. 6.

dition $b\theta - T_1 = 0$ qu'en partant de l'hypothèse B comme état 1, ce qui donne

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} T_1 > T_1,$$

car, en partant de l'hypothèse A, on aura toujours

$$b\theta - T_1 < 0.$$

Par suite, la portion de courbe comprise dans le quadrant positif se réduira à la forme indiquée sur la figure 7.

Dans le second cas, $b\theta - T_1 > 0$, l'ensemble des termes de plus bas degré fournit deux racines réelles. L'origine est un point double réel, avec les droites

$$y = \pm \rho_2 \sqrt{\frac{a}{b\theta - T_1}} \cdot x,$$

comme tangentes,

Les termes de plus haut degré donnent comme asymptotes

$$y = \pm \frac{\rho_2}{\rho_1} T_1.$$

La parabole déterminant les régions du plan passe par le point : $x = 0, y = T_1 - b\theta$.

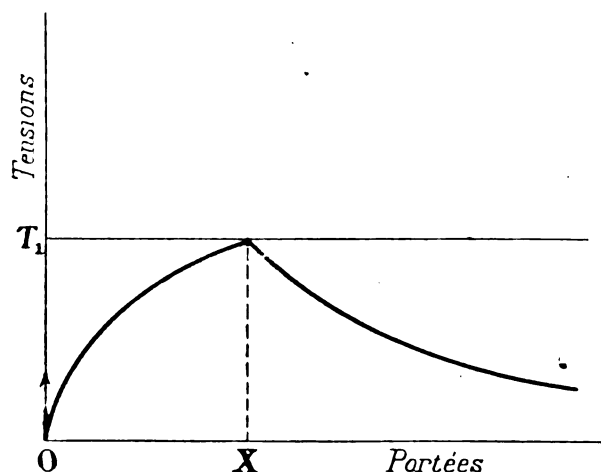


Fig. 7.

Dans ces conditions, nous pouvons représenter la fonction par la courbe de la figure 8.

Ici encore, on voit aisément que la condition $b\theta - T_1 = 0$ est possible seulement en partant de l'hypo-

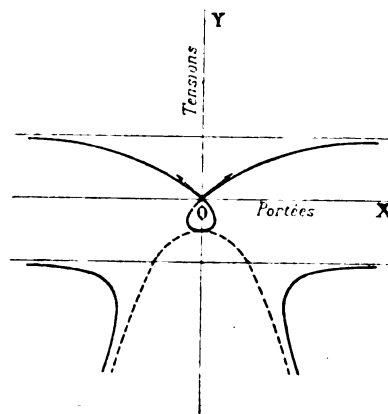


Fig. 8.

thèse B comme état 1, ce qui entraîne $\frac{\rho_2}{\rho_1} T_1 > T_1$. La figure 9 représente la portion de courbe qui est pratiquement intéressante dans ce cas.

Les tensions correspondant aux hypothèses A et B ne sont pas les seules intéressantes. On peut essayer de représenter les tensions de pose pour différentes

températures, la pose étant supposée faite quand aucune surcharge due au vent n'est à considérer.

On obtient alors un réseau de courbes analogues à

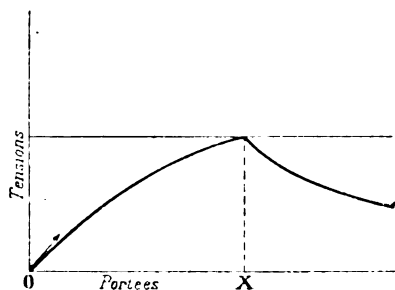


Fig. 9.

celui de la figure 10, les tensions maxima étant obtenues pour la portée critique.

Pour les températures supérieures à celle de l'hypothèse A, on obtient des courbes n'ayant aucun point commun avec celles correspondant à l'hypothèse A.

Pour les températures inférieures, au contraire, on

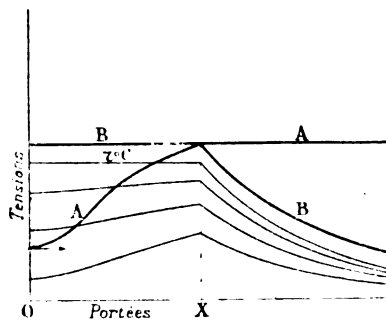


Fig. 10.

obtient des courbes coupant celles correspondant à l'hypothèse A. L'équation (2) donnant la valeur de la portée critique montre, en effet, qu'on peut alors définir une portée critique entre l'hypothèse A et la température considérée. Pour obtenir la valeur de cette portée critique, il faudrait au préalable déterminer la tension T en intégrant la courbe A.

Enfin, il est possible de déterminer une température τ telle que la tension reste constante pour toutes les portées inférieures ou pour toutes les portées supérieures à la portée critique.

En effet, de l'équation (1 bis), on peut tirer

$$b\theta = \frac{a \cdot x^2 \left[\rho_2^2 - \frac{\rho_1^2}{T_1^2} y^2 \right] + T_1 y^2 - y^3}{y^2},$$

ou encore

$$b\theta = \frac{a \cdot x^2}{y^2} \left[\rho_2^2 - \frac{\rho_1^2}{T_1^2} y^2 \right] + T_1 - y.$$

Pour que la tension soit indépendante de x , il faut que le coefficient du terme en x soit nul, c'est-à-dire

$$\rho_2^2 - \frac{\rho_1^2}{T_1^2} y^2 = 0,$$

ce qui donne

$$y = \frac{\rho_2}{\rho_1} T_1.$$

Portons cette valeur dans l'expression de $b\theta$

$$b\theta = T_1 \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_2} \right), \text{ d'où } \theta = \frac{T_1}{b} \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_2} \right),$$

c'est-à-dire

$$\tau = \frac{T_1}{b} \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_2} \right) + t_1.$$

Application. — Nous avons appliqué ces considérations à un câble de cuivre de 34,36 mm², dont la figure 11 donne les courbes des tensions pour diverses températures.

Ce double réseau de courbes permet de constater

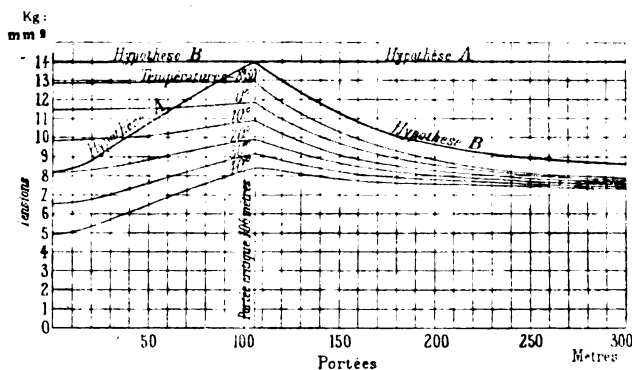


Fig. 11. — Câble en cuivre de 34,36 mm² de section. Coefficient de sécurité, 3; résistance à la rupture, 42 kg/mm².

Hypothèse A. — Température, 20°C; pression due au vent, 72 kg/m²; charge, 0,627 kg par mètre courant;

Hypothèse B. — Température, 15°C; pression due au vent, 18 kg/m²; charge, 0,348 kg par mètre courant; Température de pose entre -8°C +40°C sans vent; charge 0,3213 kg par mètre courant.

que, pour de petites portées, les températures d'hiver, même sans être accompagnées de vent, occasionnent des tensions supérieures à celles obtenues à la température moyenne avec le vent maximum.

Ils montrent de plus que c'est pour la portée critique que les écarts de tension entre les différents cas sont minima.

La fonction $T = f(\theta)$ est fondamentale pour un conducteur donné. Connaissant la forme algébrique des courbes représentant cette fonction, on saura les cons-

truire exactement avec quelques points seulement.

On peut tracer ces courbes pour des coefficients de sécurité compris entre 3 et 15 environ, et pour une série de températures; le réseau ainsi obtenu permettra de résoudre les différents problèmes qui se posent pour un projet de ligne de transmission d'énergie.

Nous n'insisterons pas sur ce réseau de courbes, ni sur

la résolution des problèmes auxquels il est fait allusion, étant donnée la facilité de les étudier suivant les différents cas particuliers qui se présentent.

H. CARPENTIER,

Ingénieur I. E. L., Compagnie d'Entreprises hydrauliques et de Travaux publics.

Revue, analyses et informations

Théorie du champ intrinsèque d'un aimant et relation entre ses propriétés magnétiques et ses propriétés électriques et thermiques caractéristiques (1).

L'auteur a déjà publié plusieurs mémoires sur la théorie du magnétisme des substances ferromagnétiques, qui considère l'intensité d'aimantation comme analogue à la densité d'un fluide, et la traite à la fois comme une fonction du champ et de la température; et il a employé précédemment une équation qui est, pour le magnétisme, la contre-partie de l'équation de van der Waals pour l'état d'un fluide. Dans cette théorie, il est nécessaire d'introduire un champ intrinsèque, exactement comme on a dû introduire une pression intrinsèque dans la théorie des fluides; et ce champ intrinsèque peut être évalué soit en partant de données expérimentales relatives à l'intensité d'aimantation I , envisagée comme une fonction de la température T , soit en utilisant les observations faisant connaître l'intensité d'aimantation I en fonction de l'intensité du champ H . Ici encore, il y a analogie avec ce qui se passe vis-à-vis de la pression intrinsèque: celle-ci peut être déterminée indirectement en se basant sur les relations existant entre la densité et la température, ou entre la densité et la pression.

Dans la théorie des fluides, la constante de pression intrinsèque (constante a de Van der Waals) a des valeurs compatibles entre elles, que le calcul soit fait par l'une ou l'autre méthode; tandis que, dans la théorie du magnétisme, la constante du champ intrinsèque prend deux valeurs qui diffèrent énormément entre elles selon la méthode de calcul utilisée. Par exemple, si la constante du champ intrinsèque est obtenue par la relation $I = f(T)$, elle donne pour ce champ une intensité maximum dans le fer égale à 10^7 . Si on se sert de l'équation $I = \Phi(H)$, on obtient une valeur de l'ordre de quelques unités.

Il y a donc lieu de rechercher quel est des deux procédés celui qui doit être rejeté.

La valeur du champ intrinsèque déduite de l'équation $I = f(T)$ à la température critique a été généralement admise, en dépit de son énorme grandeur, probablement parce que un champ de cette intensité explique avec succès les variations de l'intensité d'aimantation avec la température et, aussi, parce qu'on en peut tirer l'explication de l'accroissement de chaleur spécifique que manifestent les métaux ferromagnétiques lorsque l'on atteint la température critique.

Cependant, la démonstration du fait que cet énorme

champ intrinsèque est un champ de nature entièrement magnétique fait défaut, et il est permis de supposer qu'il est formé en partie, peut-être même en grande partie, par un champ de force d'une autre espèce.

La brusque disparition de l'aimantation dans les substances ferromagnétiques à la température critique, quoique étant l'effet le plus marqué, n'est pas le seul, et la modification qui se produit dans les autres propriétés (résistivité électrique, pouvoir thermoélectrique, chaleur spécifique) manifeste un changement dans ces substances qui est probablement peu éloigné d'un changement d'état. Si on prend le champ intrinsèque comme variable indépendante, si on suppose que ce champ est énorme et de nature entièrement magnétique, on devra trouver de fortes variations des autres propriétés, si l'on fait varier ou si l'on supprime ce champ magnétique intrinsèque.

Il se produit un intéressant changement dans la température magnétique critique, surtout sensible avec le nickel, qui peut être mis en évidence par l'application d'un champ magnétique alternatif et que l'on prendra pour déceler la grandeur du champ magnétique intrinsèque. Lorsqu'un fil de nickel est soumis à un champ alternatif, il perd son ferromagnétisme à une température inférieure de 50° à 100° à celle de sa température critique normale. Et l'on doit s'attendre à ce que les autres propriétés citées plus haut, qui doivent être influencées par la suppression d'un champ intrinsèque si intense, changent à cette température inférieure, au lieu de le faire à la température critique normale. Lorsqu'on applique un champ alternatif. C'est pourquoi on a choisi ces trois propriétés pour chercher à mettre en évidence un changement dans leurs valeurs, sous l'action d'un champ alternatif, à la nouvelle température critique, plus basse que la température critique normale. Ce qui permettra de décider si le champ magnétique intrinsèque peut avoir une valeur assez grande pour influencer ces propriétés.

RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE. — Le fil de nickel est chauffé dans un four à résistance, en forme de tube. Ce tube et son contenu sont placés dans un grand solénoïde, qui peut être traversé par un courant alternatif. Le champ appliqué n'était pas supérieur à 100 gauss. La température était déterminée au thermocouple; la résistance, au pont de Wheatstone ou par la méthode de la chute de potentiel. On faisait des mesures successives avec et sans champ alternatif. Dans aucun cas, on ne put observer de différences dans les valeurs de la résistance. Les deux courbes avec et sans champ alternatif sont exactement superposables, et la discontinuité qui se manifeste vers 400° , température critique, ne subit aucun déplacement d'une courbe à l'autre. Or, si l'on supprime le champ intrinsèque de 10^7 gauss à

(1) J.-R. ASHWORTH. *Phil. Mag.*, mars 1922, t. XLIII, p. 401-419, 5600 mots, 4 fig., 3 tab.

350° au lieu de 400°, sous l'action du champ alternatif, la résistivité du nickel doit se trouver altérée, car un champ de 10^4 gauss produit un changement d'environ 2 pour 100 dans la résistivité, et à fortiori un changement de l'intensité du champ de 10^7 gauss devrait produire un effet appréciable. L'absence de ce résultat ne s'accorde pas avec l'hypothèse d'un énorme champ intrinsèque.

POUVOIR THERMO-ÉLECTRIQUE. — Le pouvoir thermo-électrique du fer et du nickel change de façon frappante à la température critique, la courbe qui représente les variations de cette grandeur avec la température subissant alors un changement de direction énorme. Ce changement de direction doit aussi être sous la dépendance de la température à laquelle disparaît le champ magnétique intrinsèque, si celui-ci est énorme. Or, le champ alternatif ne produit ici encore, aucun changement dans la courbe du pouvoir thermo-électrique, température relative au couple nickel-platine. Même conclusion qu'au paragraphe précédent.

CHALEUR SPÉCIFIQUE. — Cette grandeur croît, chez les métaux ferromagnétiques, d'abord lentement, puis de plus en plus vite à l'approche de la température critique, et à cette température subit une chute brusque jusqu'à une valeur basse. Weiss considère ce changement comme dû à la perte graduelle, puis à la disparition du champ magnétique intrinsèque de 10^7 gauss, et montre que l'énergie calorifique à fournir, correspondant à un tel accroissement de chaleur spécifique, est presque exactement égale à l'énergie nécessaire pour détruire un champ magnétique de cette grandeur. Si le champ intrinsèque est de 10^7 gauss, la chute rapide de chaleur spécifique doit se produire à une température plus basse si la température critique relative au magnétisme est abaissée par un champ alternatif. On a fait sur le nickel et sur le fer des mesures soignées pour mettre cet effet en évidence.

Ici encore, les résultats ont été négatifs. Les changements de température critique vis-à-vis de la chaleur spécifique n'ont pas été supérieurs à 2° ou 3°, bien inférieurs par conséquent aux changements de la température critique vis-à-vis du magnétisme, sous l'action d'un champ alternatif. Nous aboutissons donc, par l'étude de cette troisième propriété, aux mêmes conclusions que par celle des deux autres.

THÉORIE DU CHAMP MAGNÉTIQUE INTRINSÈQUE ET DU CHAMP MOLÉCULAIRE. — Ainsi, les résultats de ces trois sortes d'expériences conduisent à la conclusion que le champ magnétique intrinsèque n'a pas l'énorme valeur qui lui a été assignée, mais possède au contraire une valeur très petite. Néanmoins, les effets de la température sur le ferromagnétisme ne s'expliquent que par l'existence d'un champ intrinsèque de très grande intensité, et nous sommes conduits, par suite, à considérer le champ intrinsèque comme résultant de la combinaison de deux champs, un champ magnétique proprement dit et un autre champ de force, non magnétique, et prenant son origine dans les forces moléculaires. On peut les désigner respectivement par les noms de champ magnétique intrinsèque et champ moléculaire intrinsèque.

L'extrême facilité avec laquelle un champ magnétique extérieur peut faire tourner les molécules magnétiques montre que le champ intrinsèque moléculaire n'exerce aucune contrainte sur les orientations des aimants moléculaires, la seule contrainte à ce point de vue provenant du champ magnétique intrinsèque. Par contre, le champ intrinsèque moléculaire contrôle les déplacements et les mouvements de translation des molécules, tandis que le champ magnétique

intrinsèque n'a pas d'action directe sur cette sorte de mouvements.

L'action thermique produit des mouvements d'agitation moléculaire croissant avec la température, et à la température critique le champ intrinsèque moléculaire devient très faible, comme en témoigne la diminution importante des forces élastiques. Mais, bien que l'action thermique ne donne pas lieu directement à des vibrations tournantes des molécules, c'est une propriété particulière aux substances ferromagnétiques que des vibrations tournantes peuvent être communiquées aux molécules à partir de leurs mouvements de translation, en vertu des forces magnétiques mutuelles existant entre elles. Si, par exemple, nous considérons une paire de molécules magnétiques dont les axes soient alignés l'un sur l'autre, un déplacement alternatif de l'une, normalement à la ligne axiale, produira une vibration forcée de l'autre autour de son centre, et le moment magnétique de l'ensemble sera diminué. Ainsi, c'est par l'intermédiaire des forces magnétiques mutuelles que l'action thermique affecte l'intensité d'aimantation. La température croissant, les mouvements d'agitation augmentent d'amplitude, finissant par perdre leur caractère oscillatoire à la température critique, l'amplitude des vibrations tournantes s'accroît également et, en dernier lieu, des rotations des molécules peuvent se produire, provoquant la disparition des propriétés ferromagnétiques. A la température critique, donc, les champs intrinsèques magnétiques et moléculaires deviennent l'un et l'autre négligeables ou très petits, et la perte simultanée des propriétés magnétiques et élastiques à cette température s'explique facilement.

En résumé, une substance ferromagnétique consiste en un assemblage de molécules maintenues dans des positions déterminées par les forces moléculaires et soumises à un champ intrinsèque moléculaire, ces molécules sont en outre des aimants, soumis à un champ magnétique intrinsèque ; le champ moléculaire n'impose aucune contrainte sur les aimants élémentaires vis-à-vis de la rotation ; un champ magnétique n'affecte pas de façon appréciable les déplacements et mouvements de translation ; ces mouvements de translation dus à l'action thermique peuvent produire des mouvements de rotation des molécules, à cause de leurs actions magnétiques mutuelles, mais les mouvements de rotation ne peuvent provoquer des mouvements de translation ; les champs intrinsèques moléculaire et magnétique s'annulent à la température critique.

L'auteur corrige, sur la base de cette théorie, les équations du ferro-magnétisme et montre leur bon accord avec les faits d'expérience.

Il montre que les variations de chaleur spécifique sont une conséquence directe de l'existence du champ intrinsèque moléculaire. Le changement correspondant de la résistivité en est une conséquence.

Cette hypothèse, d'un champ double explique bien pourquoi la température critique s'abaisse sous l'action d'un champ magnétique alternatif, tandis que la température à laquelle la chaleur spécifique change brusquement est à peine modifiée ; car un champ alternatif, excitant des vibrations de rotation dans les molécules magnétiques, agit directement sur l'intensité d'aimantation en accroissant l'amplitude des vibrations et, par suite, une température inférieure à la température critique est suffisante pour réaliser les conditions critiques vis-à-vis du magnétisme ; au contraire, le champ alternatif agit peu sur l'énergie d'agitation thermique, et la chaleur spécifique n'est presque pas affectée.

L. B.

Etudes des pertes par frottements dans les moteurs à combustion interne ⁽¹⁾.

L'étude de ces pertes a été entreprise dans l'espoir de dégager une loi régnant, en fonction de la pression moyenne du diagramme développé, les variations des frottements internes des moteurs à combustion.

Cette loi permettrait de déduire la valeur du rendement organique, pour une charge quelconque, de mesures mécaniques directes substituées aux méthodes méticuleuses et incertaines basées sur l'emploi de l'indicateur de Watt.

Il a été reconnu expérimentalement qu'une telle loi serait très bien représentée, dans les cas étudiés jusqu'à présent, par la formule simple $C_f = a + b\pi$ dans laquelle C_f est le couple résistant dû aux frottements et π , la pression d'inertie rapportée à la surface du piston.

Les expériences ont été poursuivies depuis deux ans sur un moteur expérimental monocylindrique à quatre temps, marchant au gaz de ville construit par les ateliers de Wintertur et développant une puissance de 30 ch à 200 t. mn. avec une compression volumétrique

$$\frac{v + V}{v} = 7,0.$$

Ce moteur, de construction très soignée, et spécialement établi pour les recherches, a été progressivement muni de tous les dispositifs expérimentaux nécessaires.

Les procédés mis en œuvre ont été les suivants :

a. Mesure du rendement organique à l'indicateur et au frein de Prony.

b. Entraînement du moteur, tournant à vide, par différentes machines électriques étalonnées.

c. Mesure directe des résistances passives par la méthode cinétique due à M. le professeur Witz, amenée au plus haut degré possible de précision.

Ces deux dernières méthodes, l'une recoupant l'autre, ont en outre conduit à l'étude des variations de C_f en fonction de la vitesse, d'une part, et d'autre part, en fonction de la température de l'eau de refroidissement, étroitement liée à la température de la paroi du cylindre, et, par suite, aux conditions de graissage du piston, celle-ci rendue nécessaire par l'influence prépondérante de cette température de l'eau sur les variations de C_f obligeant au calcul de corrections de température.

Enfin, la méthode de mesures directes à l'indicateur a donné d'excellents résultats grâce à la vitesse de rotation modérée du moteur, grâce aussi au soin extrême apporté à l'élimination des erreurs systématiques accumulées dans ces mesures.

Ces erreurs sont de toutes sortes, venant tant de l'indicateur lui-même, que de ses commandes de mouvement et de la communication de l'indicateur avec le cylindre moteur.

Les erreurs accidentelles ont été éliminées dans la mesure du possible par l'usage de plusieurs indicateurs différents, employant des pistons et ressorts très variés, ainsi que par la mise en œuvre de plus d'un millier de diagrammes, portant sur près de dix mille cycles moteurs.

Si les résultats obtenus par la suite restent aussi favorables que ceux déjà réalisés, la méthode faisant l'objet de cette étude aura atteint son but pratique en instituant une méthode permettant de calculer le rendement organique des machines à combustion sans avoir directement recours à l'indicateur.

La conclusion de l'auteur est que, si l'application de cette méthode rencontre dans la pratique des difficultés, celles-ci ne sauraient provenir de l'emploi de l'indicateur, source principale des erreurs dans la mesure du rendement organique par la méthode habituelle.

M.-H.-B.

La constante diélectrique de quelques éthers à basse température ⁽¹⁾.

Ce travail a été entrepris dans le but de déterminer les constantes diélectriques de divers éthers-sels à la température de l'air liquide, et de comparer les valeurs obtenues avec celles résultant de mesure à la température ordinaire. Les résultats obtenus montrent que le radical acide n'a que peu d'influence sur la valeur de la constante diélectrique; c'est le reste de la molécule qui, à très basse température, joue le rôle principal. On observe, à la température ordinaire, des relations plus compliquées. Au point de vue électrique, qui nous intéresse plus spécialement, il y a surtout lieu de signaler et de décrire la méthode de mesure employée par l'auteur, qui est entièrement nouvelle. Le principe est le suivant: On sait qu'un circuit électrique comportant une capacité C et une inductance L , peut être le siège d'oscillations électriques de période $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Si, d'autre part, on connecte en parallèle un deuxième condensateur avec le premier, et si on diminue la capacité du premier de telle façon que la période reprenne sa valeur initiale, cette diminution dépend évidemment du diélectrique qui sépare les armatures du deuxième condensateur. Le rapport entre les diminutions qui correspondent au cas où le diélectrique est la substance à étudier, puis au cas où le diélectrique est l'air, donne la constante diélectrique de la substance, dans les conditions où on opère. Ce principe est réalisé au moyen du dispositif que schématise la figure 1). Le montage consiste en deux

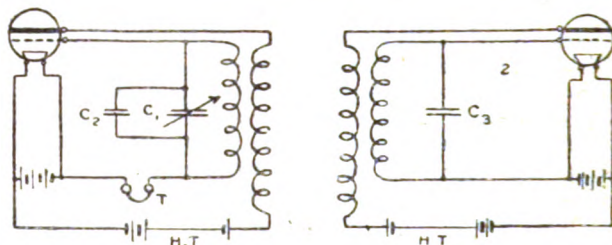


Fig. 1. — Schéma du montage destiné à la mesure de la constante diélectrique de divers éthers-sels.

circuits « valve » simples placés côte à côte, de sorte que, comme dans la méthode de réception par hétérodyne, une note soit entendue au téléphone T placé sur l'un des circuits. On dispose, en parallèle avec le condensateur de capacité variable C_1 , le condensateur à expérience de capacité C_2 , dont il faut déterminer le changement de capacité correspondant au changement de diélectrique. Le circuit 2 reste identique à lui-même pendant toute la mesure. On ajuste C_1 de façon à ce que la vibration s'annule toujours dans le téléphone. Le condensateur C_2 a une forme cylindrique; il consiste en quatre tubes de laiton coaxiaux reliés deux à deux, et fixés à une extrémité dans un isolateur de fibre. L'ensemble de deux circuits, à l'exception de C_2 et du téléphone T, est enfermé dans une enceinte conductrice réunie au sol qui le protège contre toute cause extérieure de variation de fréquence. On procède comme suit: on ajuste C_1 jusqu'à ce que les vibrations du téléphone s'annulent, le condensateur C_2 étant enlevé. Puis C_2 est connecté plein d'air. On réajuste C_1 pour réduire à nouveau le téléphone au silence. On remplace l'air par la substance, en y plongeant C_2 . Le récipient contenant la substance est lui-même immergé dans l'air liquide. On réajuste C_1 . On fait le calcul de la constante diélectrique comme expliqué ci-dessus. On mesure la température avec un thermomètre à résistance de platine, la fréquence des oscillations, avec un onde-mètre. La méthode, on le voit, fournit un moyen simple et direct pour la mesure de la constante diélectrique des substances de faible conductivité. — L. B.

⁽¹⁾ André PLANIOL. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 27 mars 1922, t. CLXXIV, p. 860-862, 1 200 mots.

⁽¹⁾ L. C. JACKSON. *Phil. Mag.*, mars 1922, t. XLIII, p. 481-489, 2 500 mots, 2 fig.

SECTION INDUSTRIELLE

Ohmmètres et capacimètres à courant alternatif à lecture directe

Dans un précédent article « Henrymètres à lecture directe⁽¹⁾ », l'auteur a décrit une application importante du type d'appareil résultant de la combinaison d'une magnéto génératrice avec un redresseur synchrone et un millivoltmètre à cadre mobile. Il faisait prévoir d'autres utilisations de ce dispositif, et il présente, aujourd'hui, deux applications nouvelles : les mesures directes des capacités et des faibles résistances, en courant alternatif.

I. Ohmmètres à courant alternatif. — On est souvent amené, dans les mesures de résistances, à employer du courant alternatif pour éliminer les perturbations qui sont dues à des courants parasites. C'est le cas particulier des mesures de prise de terre, qui sont troublées par des courants telluriques, très variables, et souvent d'une importance considérable. A moins d'employer des artifices à l'aide d'inverseurs, on ne peut pratiquement pas faire usage, dans ces cas, d'ohmmètres ordinaires, pas plus que du pont de Wheatstone.

Une variante très simple de la méthode de mesure décrite pour le henrymètre peut nous permettre de faire une évaluation correcte de la résistance, même dans les cas les plus défavorables, où, en dehors des perturbations dues aux courants vagabonds, il existe une autre cause d'erreur provenant de la présence d'une forte capacité, en général d'origine électrolytique, aux bornes de la résistance à mesurer.

Une magnéto *M*, mue à la main (fig. 1), alimente la primaire d'un transformateur *T*. Ce circuit présente une forte réactance, ce qui rend négligeables les résistances des contacts des frotteurs de la magnéto.

Le transformateur *T* abaisse la tension à 2 v environ et débite sur un circuit comprenant la résistance à mesurer *R*, et une résistance fixe *ρ*.

Un courant alternatif d'intensité efficace *I*, pouvant atteindre 2 A, circule dans ce circuit, où l'on remarque qu'il n'existe pas de contacts mobiles, dont les variations, même faibles, fausseraient la mesure de la résistance *R*.

L'intensité *I* dépend évidemment de *R*. En mesurant la différence de potentiel efficace *ρI*, aux bornes de *ρ* on a une indication fonction de *R*. Cette mesure s'effectue de la façon suivante : un circuit voltmétrique, formé par une self-inductance *L*, un redresseur synchrone *C* et un milliampèremètre à aimant à cadre mobile *V* est branché aux bornes de *ρ*, et laisse passer un courant

$$i = \frac{\rho I}{L\omega},$$

(ω étant la pulsation du courant de la magnéto.) Le courant *i*, redressé par le collecteur *C* convenablement calé sur l'axe de l'induit, donne au milliampèremètre une déviation

$$\alpha = A \frac{\rho I}{L\omega}.$$

Or, en appelant *u_s* la tension efficace aux bornes du secondaire du transformateur *T*, on a approximative-

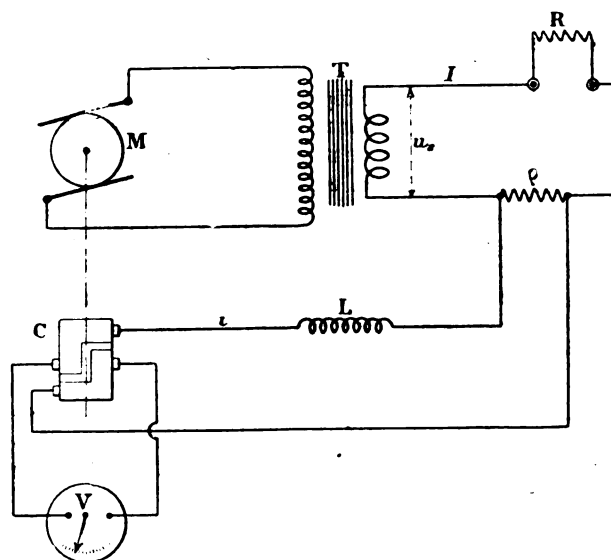


Fig. 1. — Schéma de l'ohmmètre à courant alternatif, à lecture directe.

ment (la magnéto donnant une tension proportionnelle à sa vitesse)

$$u_s = K\omega,$$

et

$$I = \frac{u_s}{\rho + R};$$

on en déduit

$$\alpha = A \rho \frac{K\omega}{L\omega(\rho + R)} = AK \frac{\rho}{L(\rho + R)}.$$

⁽¹⁾ *R. G. E.*, 25 mars 1922, t. XI, p. 419-424.

La déviation α n'est donc fonction que de la variable R et est indépendante de la vitesse de la magnéto.

Cette indépendance est due à l'emploi de la self-induction L comme réactance voltométrique. La bobine L offre encore un autre avantage : elle rend négligeables les petites variations du courant i qui proviendraient des contacts tournants du redresseur. En effet la chute de tension ohmique produite par ces contacts est en quadrature avec le vecteur $L\omega i$; il faudrait donc l'apparition d'une résistance de contact considérable pour produire une variation notable de ce courant I .

On voit immédiatement que, si l'on superpose, dans le circuit de la résistance R , une force électromotrice parasite, continue ou alternative (dans ce dernier cas, d'une fréquence différente de celle de la magnéto), l'indication de l'appareil à cadre mobile n'est changée en aucune façon, car la valeur du courant *moyen* parasite dans le cadre est nul grâce au commutateur C .

De plus, s'il existe une capacité aux bornes de R , l'indication n'est pas faussée. On peut en effet démontrer, par un calcul aussi simple que celui qui a été présenté pour le henrymètre, que la composante du courant alternatif qui est redressée par le collecteur n'est fonction que de R dans de larges limites, si ce collecteur C est convenablement calé.

L'appareil permet donc d'effectuer correctement des mesures de terre.

On peut remarquer que, dans le cas de prises de terre des antennes de radiotélégraphie, les nombres donnés par notre ohmmètre sont un peu différents de ceux que donnent les appareils de mesure utilisant la haute fréquence. En général, en effet, le terme résistance, en haute fréquence, comprend, en plus de la résistance de terre proprement dite, la résistance apparente créée par le rayonnement du système oscillant. Cette mesure globale est évidemment intéressante ; mais on mesurera plus exactement la valeur du contact de terre par l'appareil que nous venons de décrire.

II. Capacimètres. — La Compagnie pour la Fabrication des Compteurs, qui construit l'ohmmètre ci-dessus, fabrique également des capacimètres basés sur une disposition analogue.

Deux types ont été mis au point, qui diffèrent par leurs schémas et leurs sensibilités.

L'un peut mesurer plusieurs microfarads ; l'autre permet la lecture directe des capacités très faibles, utilisées en particulier en haute fréquence, et son échelle entière peut représenter 2 ou 3 millièmes de microfarad.

1. CAPACITÉS DE L'ORDRE DU MICROFARAD. — Dans le premier cas (fig. 2), on fait passer, dans la capacité à mesurer γ , un courant alternatif I débité par la magnéto M . La capacité est en série avec une résistance R suffisamment grande pour que l'expression $\frac{I}{\gamma\omega}$ soit très petite à côté de R .

En appelant U la différence de potentiel aux bornes de la magnéto, on a très sensiblement

$$I = \frac{U}{R}.$$

La différence de potentiel aux bornes de la capacité C est

$$u = \frac{I}{\gamma\omega} = \frac{U}{\gamma\omega R} = \frac{K\omega}{\gamma\omega R} = \frac{A}{\gamma},$$

A désignant une constante ; u est donc uniquement fonction de γ .

La mesure de u s'effectue en utilisant un dispositif voltométrique composé de la résistance ρ , du redres-

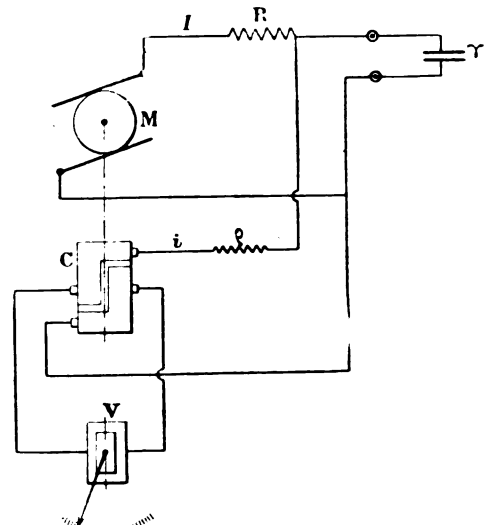


Fig. 2. — Schéma du capacimètre à courant alternatif, à lecture directe, permettant de mesurer une capacité de plusieurs microfarads.

seur C , convenablement calé, et de l'appareil à cadre mobile V , dont le cadran est gradué en microfarads.

En réalité, la vitesse de la magnéto influe encore légèrement sur la déviation du cadre mobile ; aussi a-t-on prévu dans le capacimètre un tarage préalable qui détermine la vitesse optimum à donner à la manivelle de la magnéto.

Un calage approprié du collecteur C élimine à peu près complètement l'erreur qui pourrait s'introduire par suite des fuites de la capacité γ .

Pour que la lecture soit véritablement faussée, il faudrait que la résistance d'isolement de γ descende au-dessous de 15 000 ohms (pour $\gamma = 1$ microfarad). Dans ce cas, la capacité est, en général, considérée comme défectueuse. D'ailleurs, il serait facile d'établir une formule de correction, pour des capacités très mal isolées, et dont on connaîtrait la résistance de fuite. La sensibilité de ce type de capacimètre a été prévue pour la mesure des capacités employées dans les circuits télégraphiques ou téléphoniques, des capacités de câbles, etc...

2. CAPACITÉS TRÈS FAIBLES. — Pour les capacités très faibles, la disposition est un peu différente; le principe est le suivant.

La capacité γ à mesurer est placée sous une différence de potentiel assez élevée et laisse passer un courant I .

C'est par la mesure de cette intensité qu'on détermine γ , tandis que, dans la méthode précédente, on détermine la capacité par la mesure de la différence de potentiel à ses bornes.

La magnéto M alimente un petit transformateur T qui donne environ 1 000 v au secondaire. Le circuit secondaire comprend la capacité γ et une capacité fixe S , qui sert de shunt au dispositif voltmétrique. Ce dernier est composé d'une self-inductance L , du collecteur C et du cadre mobile V (fig. 3).

Le dispositif voltmétrique, shunté par la capacité S ,

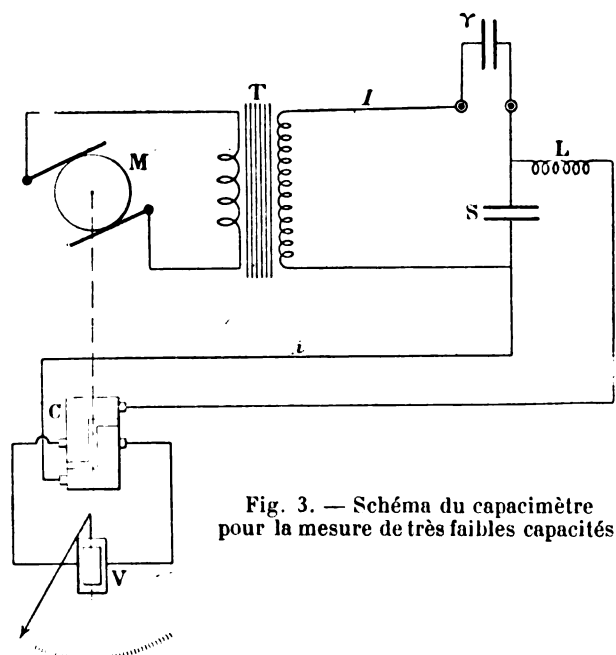


Fig. 3. — Schéma du capacimètre pour la mesure de très faibles capacités.

utilise environ 1 v alors qu'il en y a 1 000 sur la capacité γ .

On peut donc écrire, U étant la tension aux bornes du secondaire,

$$I = U\gamma\omega.$$

D'autre part, il passe dans la dérivation du cadre une fraction i du courant I

$$i = \frac{I}{LS\omega^2 - 1}.$$

Si l'on a un appareil à cadre suffisamment sensible, on peut faire en sorte que $SL\omega^2$ soit toujours très supérieur à 1; de telle sorte qu'on peut écrire approximativement

$$i = \frac{I}{LS\omega^2};$$

et comme

$$I = U\gamma\omega = K\omega^2\gamma,$$

on a

$$i = \frac{K\gamma\omega^2}{LS\omega^2} = A_1\gamma,$$

A_1 désignant une nouvelle constante.

La lecture dépend donc uniquement de la capacité γ . Ceci n'est certes qu'une approximation, mais il devient très facile de faire les lectures pour une vitesse moyenne de la magnéto, vitesse que l'on détermine aisément par un tarage.

La résistance d'isolement de la capacité γ n'intervient pas non plus dans l'exactitude de la mesure. En effet, soit R la résistance de fuite de la capacité γ (fig. 4).

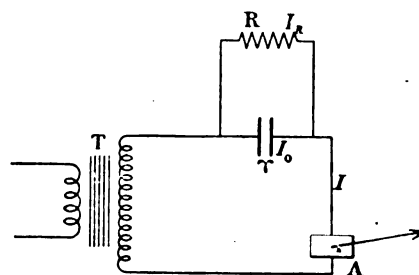


Fig. 4.

Si R est infini, le courant qui passe dans l'appareil de mesure donne une déviation α proportionnelle à I_0 redressé, I_0 étant le courant qui traverse la capacité γ .

Si R n'est pas infini, le courant total I dans le circuit secondaire devient, en désignant par I_0 et I_R les courants à travers γ et à travers R

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_R^2} = I_0 \sqrt{1 + \frac{1}{R^2\gamma^2\omega^2}};$$

et ce courant I est déphasé sur le courant I_0 d'un angle φ tel que

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{R\gamma\omega}.$$

Or, on a démontré dans la théorie du henrymètre, que, si le collecteur est calé de telle sorte que l'on redresse entièrement une intensité I donnant un courant moyen redressé i , ce courant moyen devient $i \cos \varphi$ quand l'intensité alternative I subit un déphasage φ .

Dans le cas actuel

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{R^2\gamma^2\omega^2}}},$$

par suite

$$I \cos \varphi = I_1,$$

le courant redressé a même intensité que le courant initial; on a donc la même lecture pour R finie que pour R infinie; on mesure donc bien la capacité indépendamment de la résistance d'isolement. Cette indépendance n'est évidemment pas complète; elle cesse à

partir du moment où la résistance d'isolement consomme une telle intensité, qu'elle produit une chute de tension importante dans le dispositif de génération du courant (transformateur et magnéto).

R. BARTHÉLEMY.
Ingénieur E. S. E.

Sur l'unification du matériel électrique

L'auteur examine quelles sont les puissances types qu'il y aurait lieu d'imposer en France aux constructeurs et aux installateurs pour permettre une fabrication en série, aussi économique que possible, du matériel électrique actuel et favoriser ainsi par des prix de revient de plus en plus bas, le développement de notre outillage industriel.

Introduction. — Bien que certaines commissions de l'Union des Syndicats de l'Électricité s'occupent d'établir les règles de l'unification du matériel électrique, nous croyons utile d'insister à nouveau sur les points suivants :

Outre l'unification d'un type donné d'appareils — alternateurs, transformateurs, câbles, moteurs, interrupteurs — il est tout aussi important de fixer quels doivent être les types principaux dont les détails de construction devront ensuite être unifiés et codifiés.

Il y a, en effet, encore beaucoup trop de fantaisie dans la fixation de la puissance des différents types d'appareils de la part des consommateurs, comme de celle des constructeurs.

Si nous voulons que réellement les prix de revient baissent, il faut que les constructeurs aient la volonté nécessaire pour s'entendre et imposer à leur clientèle des types de machines ren-

trant dans une série de fabrication bien définie.

Nous allons examiner les cinq catégories d'appareils mentionnés plus haut et pour lesquels on peut, dans l'état actuel du développement de l'industrie électrique, fixer des puissances-types; et nous demandons à l'Union des Syndicats de l'Électricité de seconder notre effort et de faire une campagne énergique pour faire adopter les types fondamentaux que nous allons définir.

I. Alternateurs. — Tout d'abord nous admettons que la fréquence de 50 périodes par seconde est universellement adoptée en France: il n'y a plus, pensons-nous, aucune opposition sur ce point; la vitesse angulaire de 3 000 t : mn est également admise par tous les constructeurs de groupes turbo-alternateurs jusqu'à 10 000 kw et celle de 1 500 t : mn au delà de 10 000 kw.

Dans ces conditions nous proposons de ne plus construire que les groupes-types suivants :

| Puissances | 3 000 kw | 6 000 kw | 10 000 kw | 20 000 kw | 30 000 kw |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Vitesses..... | 3 000 t : mn | 3 000 t : mn | 3 000 t : mn | 1 500 t : mn | 1 500 t : mn |
| Tensions..... | 3 000 v | 3 000 v | 3 000 v | 10 000 v | 10 000 v |
| | 5 000 v | 5 000 v | 5 000 v | 15 000 v | 15 000 v |

La tension de 15 000 v est plutôt rare; mais certains constructeurs l'ont mise à l'étude et nous croyons savoir qu'en Amérique elle est déjà adoptée. On pourra en outre définir pour chacun de ces types la puissance de régime et la puissance économique, c'est-à-dire la puissance pour laquelle la consommation unitaire de vapeur est minimum. Pour ces puissances et ces tensions, les intensités seront les suivantes (avec un $\cos \varphi$ moyen de 0,8).

| TENSION EN VOLTS | PUISANCE EN KILOWATTS | | | | |
|------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 3 000 | 6 000 | 10 000 | 20 000 | 30 000 |
| 3 000 | 700 A | 1 400 A | 2 500 A | | |
| 5 000 | 450 A | 900 A | 1 500 A | | |
| 10 000 | | | 700 A | 1 400 A | 2 000 A |
| 15 000 | | | 450 A | 900 A | 1 500 A |

Si nous admettons comme intensité pratique la valeur de 1 500 A, nous voyons que le groupe de 3 000 kw ne doit être construit qu'exceptionnellement, comme peu intéressant, et que les 4 groupes-types subsistant seuls sont ceux de :

| | | |
|------------|-----------|---------------|
| 6 000 kw, | 3 000 v, | 3 000 t : mn, |
| 10 000 kw, | 5 000 v, | 3 000 t : mn, |
| 20 000 kw, | 10 000 v, | 1 500 t : mn, |
| 30 000 kw, | 15 000 v, | 1 500 t : mn. |

II. Transformateurs. — Il faut distinguer entre deux catégories d'appareils :

a) Le transformateur de départ aux usines centrales, ordinairement très puissant;

b) Le transformateur d'arrivée dans les postes, qui dépasse rarement 5 000 kv-A.

La puissance de ces appareils étant définie habituel-

lement en kilovolts-ampères, nous aurons, si on admet que les transformateurs de départ doivent avoir la même puissance que les génératrices qu'ils desservent, les types fondamentaux suivants :

7 500 kv-A, 12 500 kv-A, 25 000 kv-A, 37 500 kv-A,

Pour les transformateurs d'arrivée, nous aurons des puissances beaucoup plus faibles :

1 250 kv-A, 2 500 kv-A, 5 000 kv-A.

Comme tensions, nous aurons les valeurs suivantes :

3 000 à 5 000/15 000 v } Pour les transformateurs
ou 3 000 à 5 000/45 000 v } de départ,

et inversement

15 000, 5 000 à 3 000 v } Pour les transformateurs
ou 45 000, 5 000 à 3 000 v } d'arrivée.

Pour les transformateurs de réseaux secondaires, nous aurons les puissances de :

10, 25, 50, 100, 200, 300, 400, 500 kv-A,

et des tensions de :

3 000 à 5 000/220 à 110.

étant entendu que la distribution basse tension finale se fera à 4 fils (neutre et étoile).

III. Câbles. — Nous avons à distinguer ici deux catégories :

Câbles haute tension pour tensions de 3 000 v à 45 000 v ;

Câbles basse tension pour tensions de 110 v et 220 v.

Nous ne croyons pas intéressant d'adopter pour les courants alternatifs basse tension la tension bâtarde de 500 v, car elle nécessiterait la création d'un appareillage spécial comme interrupteur et comme moteur.

Bien au contraire, la tension de 200 v permet la marche à 4 fils avec le neutre, d'où distribution mixte de force motrice et lumière.

Dans certains cas, on peut même supprimer le neutre en adoptant l'éclairage à 200 v, ce qui procure une nouvelle simplification dans les canalisations.

De toute façon, qu'il s'agisse de haute tension ou de basse tension, on peut se fixer a priori les sections de cuivre, ce qui définira immédiatement la tension à adopter pour une puissance donnée.

Nous proposons les cinq sections-types suivantes :

3×10 , 3×25 , 3×50 , 3×75 , 3×100 mm²

| | | | | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------------------|
| Pour haute tension 3 000 v. | 3 ch | 5 ch | 10 ch | 15 ch | 25 ch |
| Pour haute tension 5 000 v. | 3 ch | 5 ch | 10 ch | 15 ch | 25 ch 35 ch 60 ch |
| Vitesses normales..... | 1 500 t:mn | 1 500 t:mn | 1 500 t:mn | 1 500 t:mn | 750 t:mn 750 t:mn 750 t:mn |

ce qui correspondra aux cinq intensités pratiques suivantes :

30 A, 75 A, 150 A, 175 A, 200 A.

On pourra alors dresser le tableau suivant des puissances-types correspondantes :

| Sections en mm ² .. Intensités en ampères. | | 3×10 30 | 3×25 75 | 3×50 150 | 3×75 175 | 3×100 200 |
|----------------------------------------------------------|--------|-------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | | Puissance en kilowatts. | | | | |
| Tensions en volts. | 200 | 8 | 20 | 40 | 45 | 55 |
| | 3 000 | 120 | 300 | 600 | 700 | 800 |
| | 5 000 | 200 | 500 | 1 000 | 1 150 | 1 350 |
| | 15 000 | 600 | 1 500 | 3 000 | 3 500 | 4 000 |
| | 30 000 | 1 200 | 3 000 | 6 000 | 7 000 | 8 000 |
| | 45 000 | 1 800 | 4 500 | 9 000 | 10 500 | 12 000 |

On ne peut donc guère transporter commodément dans un câble de 3×100 mm² plus de

| | |
|------------|-----------|
| 55 kw sous | 200 v, |
| 800 id | 3 000 v, |
| 1 350 id | 5 000 v, |
| 4 000 id | 15 000 v, |
| 8 000 id | 30 000 v, |
| 12 000 id | 45 000 v. |

Au delà de ces puissances et pour les tensions correspondantes, il faudra multiplier les conducteurs et en mettre plusieurs de 3×100 mm² en parallèle, les câbles de section supérieure (nus ou armés) étant, en effet, trop peu pratiques d'emploi (manipulation difficile et densité de courant trop faible).

Les cinq sections proposées comme bases absolues nous permettent donc d'envisager tous les transports, et il serait désirable que les fabricants des câbles nus ou armés se limitent strictement à ces cinq sections.

IV. Moteurs. — Comme pour les transformateurs, il y a, pour les moteurs, deux catégories à distinguer :

a) Moteurs à basse tension ;

b) Moteurs à haute tension.

Il y aura lieu de chercher à avoir le plus grand nombre possible de moteurs à haute tension et pour cela, il sera préférable de faire choix pour la haute tension de la tension de 3 000 v ; car cette tension nous permettra d'avoir des moteurs de 35 ch comme haute tension, tandis qu'à 5 000 v on ne descend guère au-dessous de 80 ch.

Quant à la basse tension, elle sera uniformément de 200 v.

Suivant donc que pour la haute tension nous ferons choix de la tension de 3 000 ou de 5 000 v, les deux séries possibles de moteurs basse tension à 200 v seront

et pour les moteurs haute tension, nous aurons :

| | | | | | | |
|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Pour haute tension 3 000 v..... | 35 ch | 60 ch | 90 ch | 150 ch | 200 ch | 300 ch |
| Pour haute tension 5 000 v..... | | | 90 ch | 150 ch | 200 ch | 300 ch |
| Vitesses normales..... | 750 t : mn | 750 t : mn | 500 t : mn | 500 t : mn | 500 t : mn | 500 t : mn |

Au delà de 300 ch, nous admettrons que les moteurs à commander seront des moteurs spécialisés, dont le nombre sera faible, et pour lesquels on pourra faire une étude particulière et établir exceptionnellement un matériel hors série.

Toutefois, pour certains moteurs de pompes, ventilateurs ou compresseurs, on pourra admettre des vitesses spéciales correspondant à une attaque directe de l'engin commandé.

Les pompes centrifuges à 3 000 t : mn, les ventilateurs et les compresseurs à 200 t : mn sont dans ce cas.

Il y aura lieu néanmoins de fixer des vitesses types pour ces outils spéciaux. Nous ne parlerons que pour mémoire des machines de laminoirs et des machines d'extraction des mines, qui sont des machines à vitesse faible et tout à fait anormale; cependant, même dans ce cas, il y a intérêt à unifier et les compagnies minières s'y appliquent depuis plusieurs années, comme aussi les métallurgistes, croyons-nous.

Nous avons indiqué jusqu'ici quelles devaient être les puissances et les vitesses types des moteurs, mais nous n'avons rien dit de la nature de ceux-ci.

Or, nous avons déjà indiqué à plusieurs reprises l'intérêt que nous attachions à voir généraliser dans toutes les installations de force motrice l'emploi des moteurs synchrones, par opposition à celui des moteurs asynchrones qui nécessitent des appels de courant beaucoup trop considérables et des pertes inutiles dans les lignes de transport.

Il faudrait donc, à partir de la puissance de 90 ch, construire le moins possible de moteurs asynchrones et le plus possible de moteurs synchrones.

Certains constructeurs ont lancé sur le marché des types de moteurs asynchrones synchronisés — qui offrent sur les moteurs synchrones certains avantages de stabilité — mais, d'une manière générale, nous donnerons toujours la préférence aux moteurs synchrones proprement dits, car ils sont beaucoup plus simples comme construction.

Nous demandons donc que, aussi bien chez les constructeurs que chez les consommateurs, on fasse un effort sérieux pour qu'il ne soit plus commandé de moteurs asynchrones de puissance supérieure à 150 ch et que, pour les puissances comprises entre 90 et 150 ch, on ne commande que les moteurs asynchrones faisant office de rechange pour les installations déjà existantes.

Une amende croissant avec la puissance devrait

être infligée à tout consommateur d'énergie électrique qui commanderait désormais des moteurs asynchrones de puissance supérieure à 150 ch; ce serait peut-être le meilleur moyen d'éviter le gaspillage d'énergie auquel nous assistons, c'est-à-dire le gaspillage de combustible et la mauvaise utilisation du cuivre, qui en découlent.

V. Interrupteurs. — Les puissances types des transformateurs, câbles et moteurs ayant été définies dans les chapitres précédents, celles des interrupteurs correspondants, tant à haute tension qu'à basse tension, s'en déduisent automatiquement.

Il faudra donc, pour la haute tension, faire choix de disjoncteurs prévus pour supporter les intensités suivantes

30, 75, 150, 175, 200 A.

Mais pour la basse tension, il faudra pouvoir aller plus loin que 200 A, car nous admettons que l'on peut aller pour les transformateurs à 200 v jusqu'à 500 kv-A, ce qui correspond à des courants de 1 500 A.

Nous aurons donc des disjoncteurs haute tension qui pourront être d'un type unique, pouvant supporter jusqu'à 200 A, et des interrupteurs ou disjoncteurs basse tension pour les intensités types de

36, 75, 150, 175, 200, 300, 600, 1 200 et 1 500 A.

Conclusions. — On voit, par ce qui précède, l'avantage qui résulterait pour l'industrie électrique de l'adoption d'un petit nombre de types de machines, pour chaque catégorie d'appareil.

Les constructeurs y trouveraient la possibilité de faire baisser leur prix de revient dans des proportions considérables, par une unification plus grande de leur matériel; et les consommateurs n'auraient plus à se munir que d'un petit nombre de rechanges, tant comme moteurs et transformateurs que comme câbles; de plus les installations y gagneraient une grande simplicité.

Nous insistons donc pour que les commissions d'unification imposent à bref délai l'acceptation de nos barèmes, et nous faisons appel à tous les ingénieurs, constructeurs ou installateurs pour qu'ils veuillent bien seconder nos efforts dans ce sens.

J. MATHIVET,
Ingénieur en chef aux Mines de Nœux.

Les grandes unités des chaufferies modernes

La chaudière Ladd-Belleville

Les constructeurs américains ont spécialement étudié les chaudières de très grandes dimensions présentant une surface de chauffe d'environ 2 500 m². Une entente récente a permis de mettre en commun la pratique acquise en Amérique et l'expérience d'un des plus anciens fabricants français de chaudières, la Société des Etablissements Delaunay-Belleville, pour assurer la construction des grands générateurs type Ladd-Belleville. La description de l'installation de ces chaudières à l'usine Ford à River Rouge permet de mettre en lumière les avantages que présente l'emploi de ces générateurs, les dispositions spéciales de leur construction, les mesures prises pour assurer un fonctionnement sûr et économique en même temps qu'un entretien facile et peu coûteux, et l'heureuse solution réalisée pour brûler simultanément du charbon pulvérisé et des gaz de haut fourneau.

I. Généralités. — Le développement des stations centrales électriques a été accompagné d'une augmentation parfois considérable de la puissance unitaire des divers appareils.

Pour les chaudières, en particulier, il y a dix ans à peine, un générateur produisant entre 10 000 kg et 15 000 kg de vapeur par heure était considéré comme une très grosse unité. Quatre ou cinq ans plus tard, l'Amérique construisait des chaudières de 60 000 kg de vapeur; la France l'a suivie depuis dans cette voie. D'autres pays, comme l'Allemagne, paraissent s'en tenir à des puissances notablement moindres : 30 000 à 40 000 kg de vapeur. Mais les Etats-Unis ont continué leur marche en avant et ont abordé la construction et l'exploitation de chaudières produisant, par heure, des quantités de vapeur franchement supérieures à 100 000 kg.

Pour réaliser ces productions considérables, il est nécessaire d'avoir des unités dont la surface de chauffe atteint et dépasse même 2 500 m² et d'aborder des vaporisations par mètre carré de surface de chauffe relativement élevées : 40 à 55 kg par heure.

Pour atteindre ce résultat, les Américains ont développé, à côté des chaudières à tubes horizontaux, les chaudières à tubes verticaux. Ils ont augmenté à l'extrême le volume du foyer de façon à assurer une combustion aussi bonne que possible. Comme, en outre, l'augmentation de la puissance unitaire des chaudières améliore le rendement par réduction du rayonnement et augmentation de la température réalisée dans la chambre de combustion, l'exploitation des grandes chaudières est favorable aux économies de combustible.

Il y a encore avantage au point de vue de l'encombrement. Lorsque la puissance unitaire augmente, le nombre de mètres carrés de surface de chauffe qu'on peut loger par mètre carré d'encombrement horizontal de la chaudière augmente de façon considérable, car l'importance du faisceau tubulaire devient prépondérante vis-à-vis de l'enveloppe, des jeux et, d'une façon générale, de toutes les parties non actives de la chaudière. Cet avantage n'a pas encore été utilisé au mieux, car on laisse aux intervalles compris entre ces grandes chaudières une importance probablement trop grande. Les installations américaines récentes permettent, si on les compare à nos bonnes installations d'il y a dix ans,

de produire, dans une même surface de chaufferie, au moins 50 pour 100 et probablement d'atteindre 100 pour 100 de plus comme quantité de vapeur. Il en résulte une économie très appréciable. En outre, la réduction d'encombrement horizontal est favorable à la diminution de la longueur des tuyauteries et, par suite, réduit les frais de leur établissement en même temps que les pertes d'énergie qui s'y produisent.

Il faut ajouter que les fumisteries, le briquetage sont réduits comme développement; donc nouvelle source d'économies. Enfin il est évident que le service d'un petit nombre de grosses unités bien concentrées demande moins de main-d'œuvre que celui d'un grand nombre de chaudières plus petites, forcément plus dispersées.

On a objecté à l'emploi des grosses unités que les dépenses de combustible résultant de l'arrêt intempestif d'une grande chaudière étaient considérables par suite de la perte du combustible qui se trouve sur la grille. Cette considération ne peut pas entrer en ligne de compte en raison de la rareté des arrêts fortuits dans une installation bien conduite : c'est ainsi qu'à la Compagnie parisienne de Distribution d'Électricité, il y a eu, en huit ans d'exploitation, un arrêt imprévu de quelques minutes, ce qui est tout à fait négligeable.

Le développement des grandes chaudières s'est fait surtout avec les types à tubes verticaux. Bien qu'il soit possible de réaliser avec les chaudières à tubes horizontaux des surfaces de chauffe de 2 000 m² et plus, les plus grandes chaudières en service à l'heure actuelle, qui ont une surface de chauffe de 2 500 m² et 2 750 m², sont du type vertical.

L'évolution de ces chaudières s'est poursuivie en tenant compte des desiderata des exploitants de stations centrales. Ceux-ci cherchent à réduire leurs frais d'installation et d'exploitation. La considération d'économie de construction : chaudières et bâtiments, la possibilité d'aborder de grandes vaporisations sont donc très importantes. Pour assurer une exploitation économique, le rendement doit être élevé aux allures normales, suffisant aux allures poussées, d'où l'orientation vers les grandes chaudières.

Toutes les dépenses étrangères au fonctionnement doivent être aussi réduites que possible : l'entretien des chaudières et plus particulièrement des maçonneries, des surchauffeurs doit être peu coûteux; les arrêts

obligatoires pour les visites doivent être espacés, durer peu, nécessiter peu de dépenses; les incidents

raisons; donc pas de primage pouvant entraîner des avaries des machines, faible usure des tubes dont le remplacement doit être rapide.

Enfin il semble avantageux de n'utiliser pour la construction des chaudières que des parties cylindriques sans collecteurs de forme contournée, sans lames plates d'eau ou de vapeur, afin d'avoir des appareils bien adaptés à l'emploi des hautes pressions vers lesquelles on s'oriente actuellement.

Telles sont les directives suivant lesquelles se sont développées les chaudières pour stations centrales aux Etats-Unis.

II. Les chaudières Ladd de l'usine Ford, de River Rouge.

— Description générale. — Un des exemples les plus caractéristiques est fourni par l'installation des chaudières Ladd à l'usine de River Rouge appartenant à la Ford Motor Company près de Detroit (fig. 1 et 2).

Bien que leurs dimensions aient déjà été légèrement dépassées dans des chaudières à faible pression, elles restent, en raison de leur pression de régime de 17 kg/cm^2 , les plus grandes chaudières réellement adaptées à un service de production de force motrice et d'électricité.

Chaque chaudière comporte deux faisceaux tubulaires symétriques, légèrement inclinés vers le milieu, réunissant chacun un collecteur inférieur à un collecteur supérieur. Les deux collecteurs supérieurs communiquent avec un collecteur placé au-dessus d'eux dans lequel se fait la prise de vapeur.

Ces chaudières sont remarquables, d'une part, par leurs grandes dimensions (2450 m^2 de surface de chauffe par chaudière) et, d'autre part, par leur système de chauffe qui allie l'emploi du charbon pulvérisé et celui des gaz de haut fourneau.

Au point de vue de leur encombrement, elles occupent peu de surface, puisqu'elles permet-

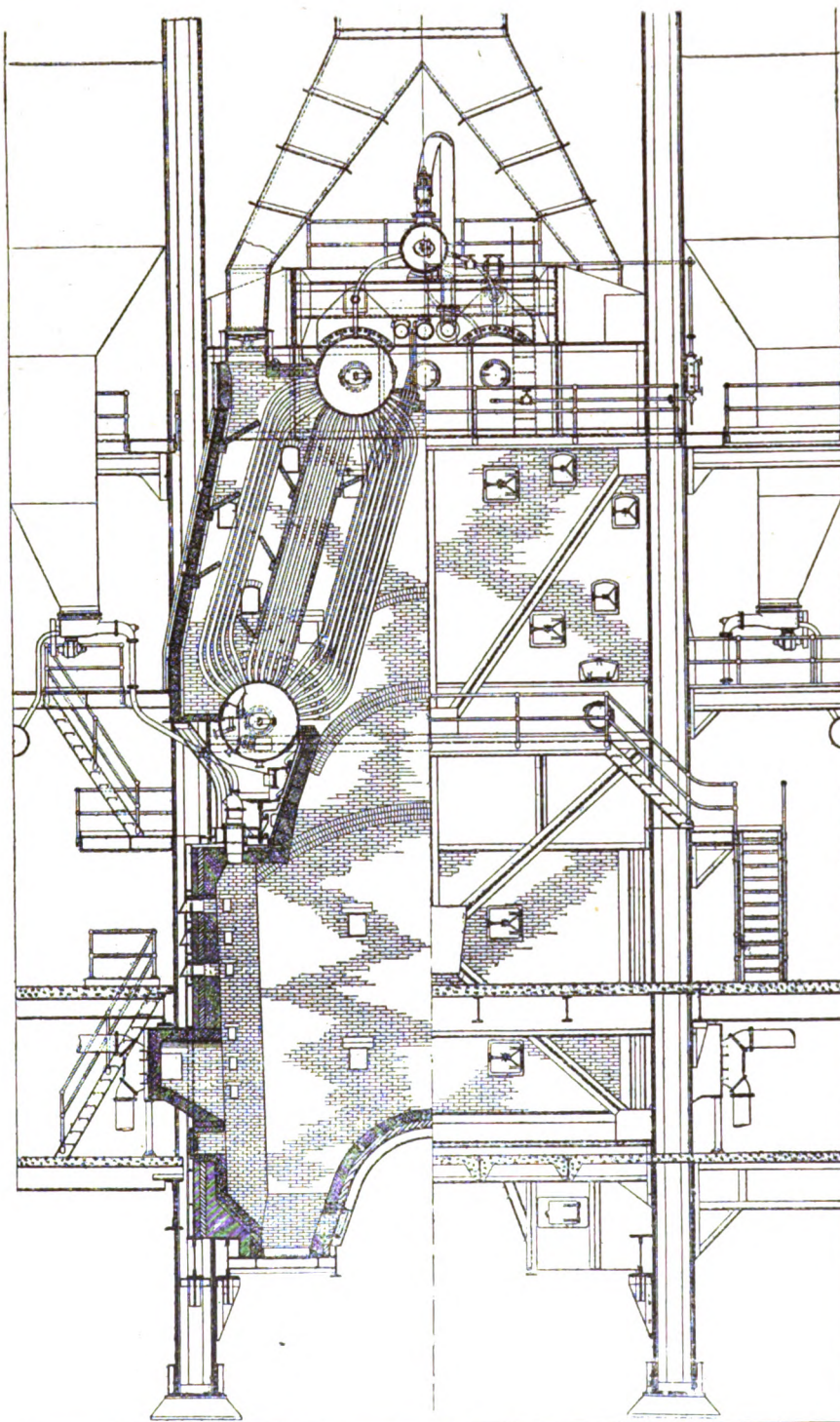


Fig. 1. — Chaudière de l'usine de « River Rouge ».

susceptibles d'arrêter fortuitement l'installation doivent être rares et ne demander que de courtes répa-

raisons; donc pas de primage pouvant entraîner des avaries des machines, faible usure des tubes dont le remplacement doit être rapide.

chaque chaudière : collecteurs et faisceaux, générateurs, enveloppes, surchauffeur, etc., est supporté par des membrures solidement reliées aux colonnes maîtresses du bâtiment constituées par des poutres métalliques. On évite ainsi les dépenses d'acier supplémentaires et tout au moins inutiles qui résulteraient d'une séparation complète entre la charpente des chaudières et celle du bâtiment.

Il a fallu évidemment se préoccuper des effets possibles de dilatation pour des pièces d'aussi grandes dimensions. Les poutres supportant les diverses parties de la chaudière sont reliées aux colonnes du bâtiment et se trouvent à l'extérieur de l'enveloppe. Elles échappent de ce fait à l'action directe de la chaleur. Les membrures qui peuvent être soumises à de hautes températures sont simplement posées et libres par suite de se dilater et de se contracter. Les collecteurs supérieurs sont suspendus à deux poutres transversales, mais pour éviter l'effet nuisible des dilatations un seul point de suspension est fixe, l'autre est articulé et permet l'allongement du collecteur. Les collecteurs inférieurs reposent simplement sur des supports et sont par suite à dilatation libre.

La maçonnerie a été très soigneusement établie et, malgré les grandes dimensions des murs qui atteignent 15 m de haut sur 9 m de large, il n'a pas été utile d'établir de joint de dilatation. Lors des premières chauffes, une dilatation de 6 à 7 mm s'est produite ; il n'en est résulté rien de fâcheux, les murs sont en parfait état. Ils ont une forme en voûte concave du côté de l'intérieur, afin d'éviter la tendance au gonflement vers la flamme, qui se manifeste dans les murs en briques après les premières chauffes. Le dessin correct de ces voûtes combiné, d'une part, avec une bonne répartition des matériaux réfractaires, non réfractaires et isolants, d'autre part, avec une diminution graduelle d'épaisseur depuis la base jusqu'au sommet a suffi pour obtenir d'excellents résultats.

Le poids total de chaque chaudière dépasse 1 000 t. Leur montage a été mené avec beaucoup de rapidité et de précision. On mettait en place d'abord les collecteurs supérieurs, puis les collecteurs inférieurs et l'on procédait ensuite au « dudgeonner » des tubes et à l'habillage de la chaudière. L'en-

semble de ces travaux, y compris les essais de pression, n'a pris que 24 jours pour chaque unité. Il faut par

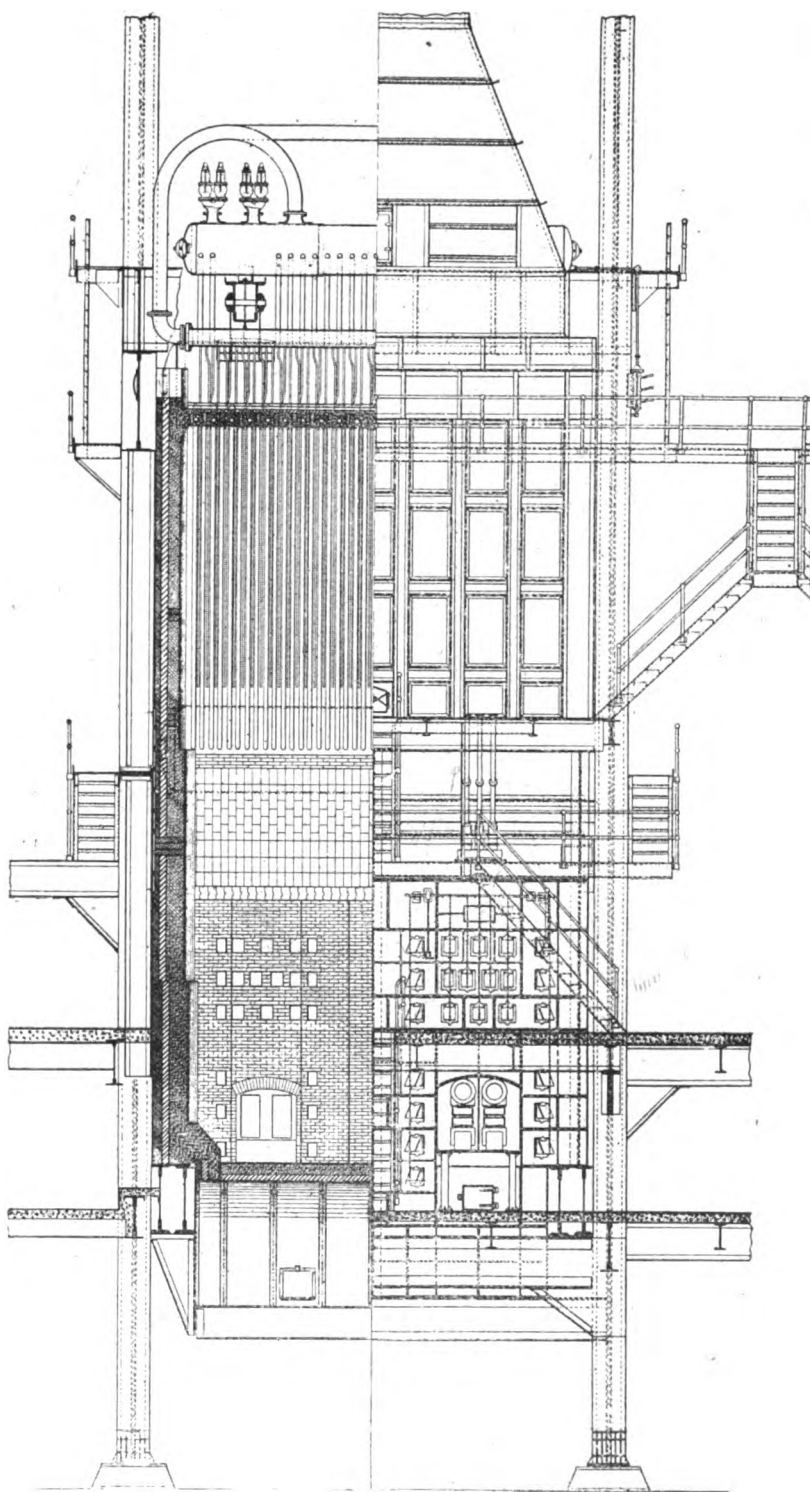


Fig. 2. — Chaudière de l'usine de « River Rouge ».

chaudière « dudgeonner » un peu plus de 3 000 joints. Grâce au soin apporté à leur exécution, les essais de

pression ont été réussis sans difficulté, il a suffi d'effectuer six essais pour faire recevoir quatre chaudières. Un essai a été manqué par suite d'un joint de trou d'homme mal fait, un autre du fait d'un tube de mauvaise qualité, les quatre autres ont été parfaitement réussis.

2. Les collecteurs et les faisceaux tubulaires. —

Chaque faisceau tubulaire comporte, comme nous l'avons déjà vu, un collecteur inférieur et un collecteur supérieur réunis par des tubes. Cette disposition représente le maximum de simplicité. Elle avait été étudiée en France par la Société Delaunay-Belleville qui, tout en perfectionnant la chaudière horizontale Belleville si intéressante à tant d'égards, suivait le développement des chaudières verticales pour les grandes unités. Cette maison française s'est ainsi trouvée tout naturellement conduite à s'associer à la G. T. Ladd Company pour exploiter le type de chaudière Ladd-Belleville.

Malgré sa simplicité, la disposition du faisceau tubulaire se prête bien à une bonne division des circuits de gaz et des circuits eau et vapeur. Les tubes sont répartis en trois groupes. L'eau d'alimentation pénètre dans la boîte B (fig. 3) située dans le collecteur inférieur et

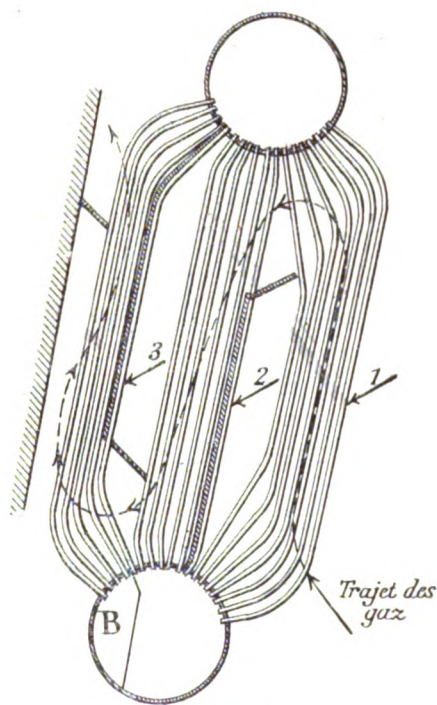


Fig. 3. — Schéma du faisceau tubulaire de la chaudière Ladd-Belleville.

dans laquelle débouchent les tubes de la partie arrière du faisceau 3. L'eau monte par ces tubes, qui sont les plus froids, jusqu'au collecteur supérieur. Comme, d'autre part, la partie avant 1, la plus chauffée du faisceau, est évidemment parcourue par un courant

ascendant, l'eau doit nécessairement descendre par le groupe milieu 2. L'eau partant de la boîte d'alimentation parcourt donc trois fois la longueur des tubes. Grâce aux cloisons prévues, qui sont constituées par un système très simple de briques intercalées entre tubes, les gaz de la combustion suivent aussi un triple parcours, traversant successivement les faisceaux 1, 2 et 3, en accomplissant un trajet qui atteint 20 et même 25 m dans les grandes chaudières. Donc bonne circulation de l'eau et de la vapeur à l'intérieur des tubes : en aucun point de son parcours le mélange eau et vapeur ne rencontre d'étranglement gênant la circulation. Bonne circulation également des gaz de la combustion. En outre, les gaz les plus froids sont en contact avec les tubes remplis de l'eau la moins chaude et inversement ; il y a donc échange à peu près méthodique de chaleur entre les gaz brûlés et le mélange eau et vapeur.

La chambre de combustion, par son grand volume et son développement en hauteur, assure une combustion bien complète ; aussi la surface de chauffe reste suffisamment propre, sans dépôts de suie importants. La boîte d'alimentation des collecteurs inférieurs joue un rôle très efficace pour la précipitation des impuretés contenues dans l'eau, qu'on extrait facilement en purgeant cette boîte. On maintient ainsi en bon état de propreté la surface intérieure des tubes. Ces diverses raisons : bonne circulation, bon état de propreté des surfaces d'échange expliquent les bons rendements qui sont obtenus avec la chaudière Ladd-Belleville même sans économiseur.

La circulation active de l'eau, aussi bien que des gaz brûlés, facilite les échanges de chaleur et permet d'atteindre des vaporisations élevées par mètre carré de surface de chauffe : jusqu'à 50 et 55 kg (eau à la température de 25°, vapeur à la pression de 19 kg/cm²). La chaudière supporte ces hautes vaporisations pendant de longs intervalles ; certains projets escomptent même la possibilité de supprimer les chaudières de réserve en employant, pour servir un même groupe de turbo-alternateurs, deux grandes chaudières qui normalement fonctionneraient simultanément à une allure très économique, mais qui fonctionneraient à une allure double pour assurer le service avec une seule chaudière pendant les arrêts indispensables pour la visite de l'autre.

Malgré leur circulation active, leur vaporisation poussée, les chaudières Ladd-Belleville (fig. 4 et 5) ne donnent pas d'ennuis au point de vue des entraînements d'eau. Les surchauffeurs jouent bien leur rôle qui est d'augmenter la température de la vapeur et ne servent ni de sécheurs pour de la vapeur très humide, ni de vaporisateurs pour les paquets d'eau entraînée. Le niveau de l'eau, contrôlé par un régulateur automatique, reste remarquablement calme dans le collecteur supérieur, malgré des allures poussées, ou de brusques variations de régime. Cela est dû pour une bonne partie au grand diamètre des collecteurs. Avec un collecteur de 1,50 m de diamètre et un niveau établi vers le

centre, on maintient une bonne charge d'eau au-dessus de l'extrémité des tubes, en sorte que les courants qui s'en échappent n'agissent pas trop directement sur la surface libre dans le collecteur. Cette surface elle-même est de grandes dimensions, présentant un large espace au dégagement de la vapeur, ce qui évite un effet trop tumultueux. La partie supérieure du collecteur et tout le volume du collecteur supplémentaire de vapeur commun aux deux faisceaux forment un grand réservoir de vapeur, suffisant pour éviter les trop grandes variations de pression, même sous des charges très variables, ainsi que les entraînements d'eau qui sont la conséquence de ces fluctuations. Enfin, il faut noter que le fait d'ajouter au-dessus des deux collecteurs supérieurs un collecteur central franchement surélevé, en large communication avec eux par de nombreux tubes, assure de façon définitive la siccité de la vapeur débitée, car, même s'il existait des mouvements d'eau violents dans les autres collecteurs, leur effet ne se ferait pas sentir jusqu'à la prise de vapeur placée à la partie supérieure du collecteur surélevé, qui recueille et élimine dans sa partie inférieure les gouttelettes d'eau que pourrait encore contenir la vapeur.

3. L'entretien des chaudières Ladd-Belleville. — Le personnel qui exploite les chaudières de l'usine de River Rouge est satisfait des dispositions prises pour assurer un entretien peu coûteux, des visites rapides, des réparations faciles, qu'il s'agisse du briquetage, des tubes, des collecteurs, de l'ossature métallique aussi bien que des accessoires. L'absence de joints de dilatation rend très simple la construction des murs élevés qui limitent la chambre de combustion, les briques sont de modèle courant et facilement remplaçables. Les garnissages intérieurs en briques réfractaires sont complètement indépendants de la structure en briques ordinaires. Dans chaque mur sont encastées trois voûtes qui soutiennent la partie située au-dessus de chacune d'elles et permettent d'effectuer dans de bonnes conditions des réparations locales s'il en est besoin. Les façades contiennent, en dehors des briquetages, toute une partie supérieure constituée par des panneaux en tôle, raidis extérieurement par des profilés, garnis intérieurement de briques réfractaires et d'isolants. Ces panneaux reposent sur des membrures creuses refroidies par l'air et protégées par des briques réfractaires de forme spéciale. Pour donner à la partie milieu des façades une forme bien adaptée à la combustion des combustibles injectés, on la constitue par une construction mixte suspendue à des fers profilés au moyen de supports en acier moulé résistant bien aux hautes températures et sur lesquels sont accrochées des briques réfractaires. Le briquetage n'est, dans aucune partie, utilisé pour supporter des poids extérieurs. Tout a été étudié pour éviter les fuites dans les maçonneries, et réduire l'effort demandé aux briques, en les soutenant par des supports métalliques là où cela est utile.

Les incidents dus aux tubes sont très rares. En fait,

depuis la mise en service des chaudières, on n'a remplacé que deux tubes qui avaient des défauts et deux tubes de surchauffeur. D'après les précédents observés il est à présumer que d'ici une dizaine d'années, il n'y aura pour ainsi dire aucun remplacement de tubes dû à l'usure, et qu'ensuite il suffira de remplacer quelques tubes par an. Néanmoins leur remplacement a été très étudié de façon qu'on puisse enlever un tube sans être obligé de toucher aux autres. Il suffit pour enlever un tube de le refouler de l'intérieur du collecteur après avoir desserti le dudgeonnage. Le tube est ainsi rendu complètement libre et peut être sorti de la chaudière sans enlever les cloisons de circulation des gaz, en passant à travers les espaces plus larges qui, sont ménagés toutes les deux rangées de tubes. Une fois sorti du faisceau, le tube peut être retiré de l'enveloppe à travers des portes spécialement prévues à cet effet. Le nouveau tube est amené à la position de l'ancien, ses extrémités sont engagées dans le collecteur et on le dudgeonne sur place sans difficulté. Les grandes dimensions des collecteurs permettent, en effet, d'y pénétrer très aisément, de surveiller l'emmanchement des tubes, de reprendre le dudgeonnage si des fuites venaient par extraordinaire à se produire et de nettoyer l'intérieur des tubes au moyen d'un flexible actionnant une petite turbine à air comprimé ou à eau sous pression. Un ouvrier s'installe commodément dans le collecteur supérieur et atteint avec un flexible toute la longueur des tubes malgré la courbure qu'ils présentent. Il faut, en effet, que ce nettoyage soit très facile pour remplacer l'inspection intérieure des tubes rendue impossible sur toute leur longueur par suite de l'emploi de tubes courbés qui sont plus aptes à supporter les dilatations et qui permettent de loger une plus grande surface de chauffe dans un encombrement donné.

Néanmoins, on a très rarement besoin dans l'installation Ford de recourir à ce nettoyage. L'eau de la Rivière Rouge est tellement souillée qu'il a paru nécessaire de la distiller avant de l'envoyer dans les chaudières. Au sortir de la rivière, l'eau pénètre dans un bouilleur où elle est chauffée par des serpentins à l'intérieur desquels circule de la vapeur venant des chaudières. Grâce à cette distillation, l'eau est suffisamment épurée pour que la purge de la boîte d'alimentation suffise à éliminer les quelques impuretés gênantes qui peuvent subsister.

La surveillance des tubes porte en réalité sur leur aspect extérieur; il est facile à un ingénieur de pénétrer à l'intérieur de la chambre de combustion et d'examiner successivement les diverses rangées de tubes. Si un tube a souffert, son aspect le décèle immédiatement, soit qu'il présente un changement de coloration, soit qu'il ait subi un léger commencement de gonflement; les effets d'un coup de feu, d'une obstruction ou d'un étranglement de circulation se traduisent donc par des effets immédiatement visibles sans regarder à l'intérieur des tubes. Pour maintenir la partie extérieure des tubes en bon état de propreté, il suffit de faire fonc-

tionner les ramoneurs à vapeur installés à poste fixe, toutes les quatre heures quand on marche avec des gaz de haut fourneau, toutes les huit heures quand on marche au charbon pulvérisé.

Les collecteurs des chaudières Ladd-Belleville ne peuvent donner lieu à réparation. Ils sont en tôle épaisse (24 mm) dont la surveillance est très facile. Il n'y a aucune couture rivée dans le circuit des gaz de

combustion ; tous les rivets sont facilement accessibles et peuvent être repris par matage en cas d'amorce de fuite.

Les accessoires ont été étudiés avec la préoccupation de faire une construction solide, résistant bien, par l'échantillonnage et la qualité des matériaux, à l'action destructive de la chaleur.

Il faut, en outre, remarquer que les joints qu'il est

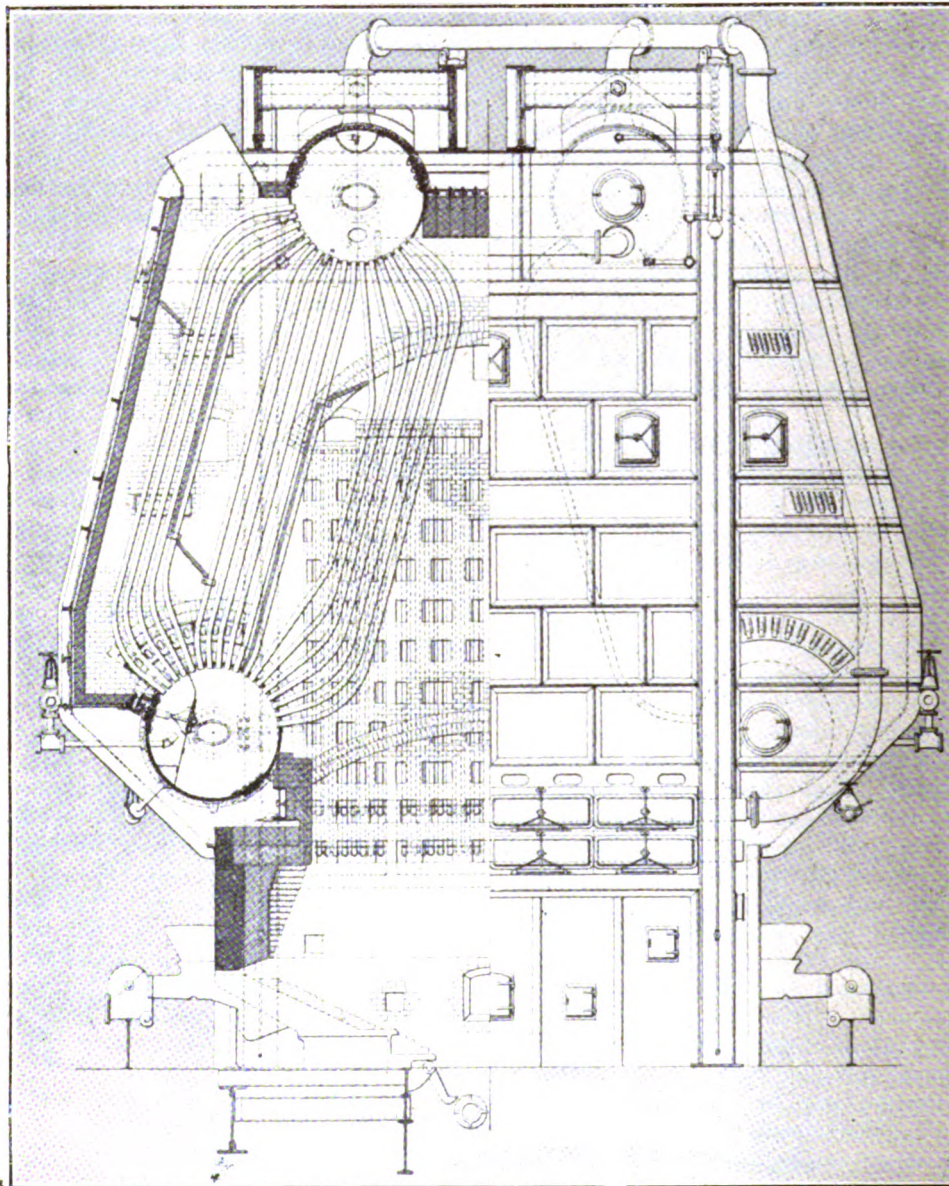


Fig. 4. — Chaudière Ladd-Belleville avec foyer mécanique.

utile d'ouvrir pour une visite intéressent seulement un bouchon de trou d'homme par collecteur, soit cinq en tout ; or la multiplicité des joints à défaire et refaire allonge la durée des visites et augmente les risques de fuite pouvant motiver l'arrêt de la chaudière.

Telles sont les principales caractéristiques du générateur de vapeur proprement dit.

4. **Le surchauffeur.** — Le faisceau surchauffeur (fig. 6) présente également plusieurs particularités. Le pro-

blème à résoudre était compliqué par l'importance du débit de vapeur à assurer qui peut aller jusqu'à 130 000 kg : h et par la nécessité de bien répartir ce débit à travers le faisceau surchauffeur pour obtenir une égale surchauffe de tout le courant de vapeur. La surchauffe garantie était de 110°C pour un débit de 100 000 kg : h.

Pour ne pas être obligé d'employer une trop grande surface d'échange, et afin de ne pas aboutir à un appareil trop encombrant, le surchauffeur a été placé dans une région où la température des gaz de la combustion est assez élevée c'est-à-dire derrière les premières rangées de tubes et dans la première partie du faisceau

que parcourent les gaz avant d'abandonner la chambre de combustion proprement dite. Il est protégé contre une trop haute température par les premiers tubes générateurs, tout en étant plongé dans un circuit de gaz à température élevée, et se trouve soumis au rayonnement du foyer en même temps qu'à la convection des gaz chauds. La surface d'échange a pu être réduite à moins de 250 m² ; le surchauffeur occupe l'espace minimum à l'intérieur de la chaudière et la résistance au passage des gaz de la combustion créée par ses éléments est aussi minimum. Il s'installe facilement entre les tubes générateurs ce qui a permis d'abandonner la

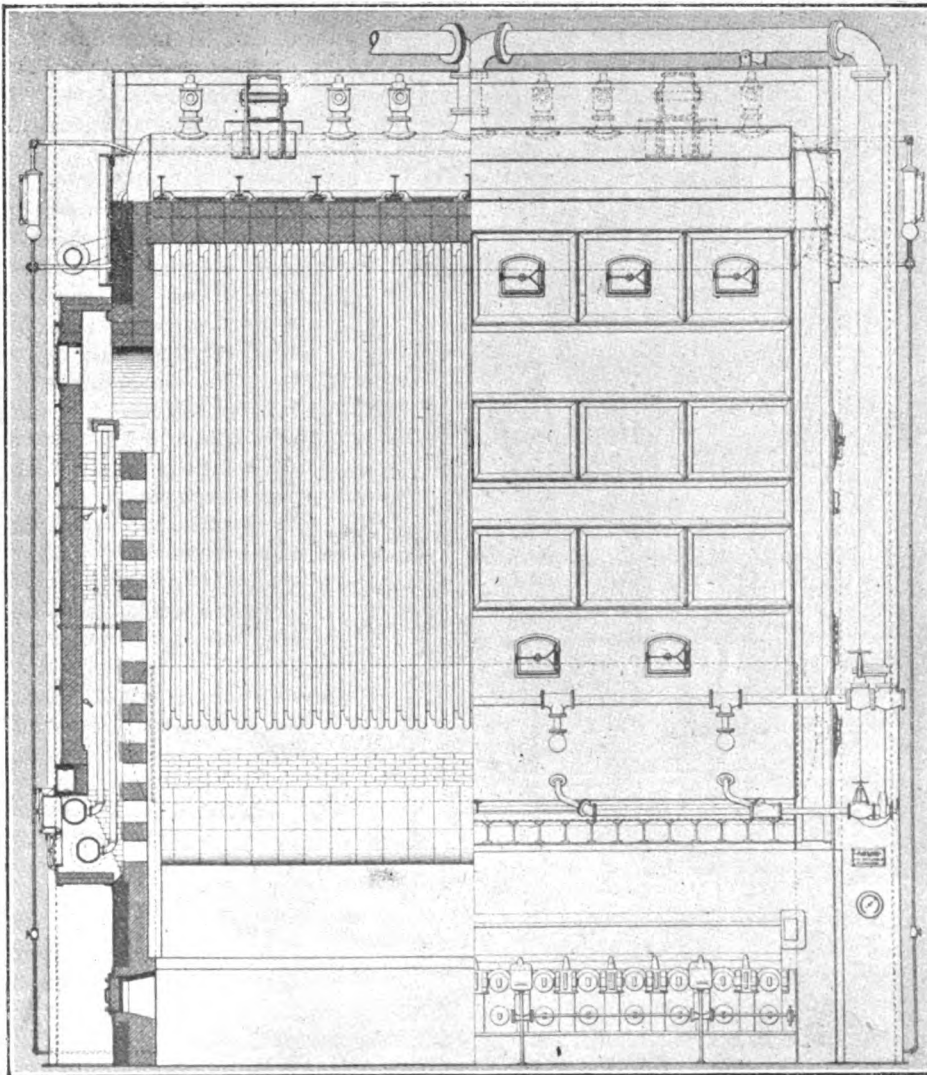


Fig. 5. — Chaudière Ladd-Belleville avec foyer mécanique et surchauffeur en façade.

disposition habituelle de Ladd qui plaçait le surchauffeur contre les façades de manière à bien utiliser la chaleur rayonnée par la chambre de combustion et à diminuer la perte de chaleur à travers les façades. La nouvelle disposition est probablement moins encom-

brante et plus efficace au point de vue surchauffe. Les éléments de surchauffeurs sont constitués par des tubes de 38 mm de diamètre extérieur ployés en boucles simples ou doubles, insérées entre les rangées des tubes générateurs. Comme il suffit de 120 boucles

et que chaque boucle porte un joint à chacune de ses extrémités, il n'y a dans tout le surchauffeur que 240 joints étanches à la vapeur. La réduction du nombre de joints est une conséquence indirecte de la réduction de la surface d'échange.

La vapeur saturée arrive aux éléments du surchauffeur par deux tuyaux qui communiquent avec le coffre central surélevé de la chaudière et desservent chacun les éléments contenus dans un des deux faisceaux. La vapeur entre dans ces tuyaux par les extrémités situées d'un même côté de la chaudière ; elle passe dans les éléments et aboutit à un collecteur central de vapeur

trier dans la chaudière, ce qui est important pour ces grandes unités qui travaillent pendant de longues périodes sans arrêts.

Les éléments sont suspendus presque verticalement. Ils peuvent, par suite, se dilater librement ; ils s'encreassent peu et leur nettoyage est simple. Les éléments les plus chauffés sont plus courts et ne comportent qu'une boucle alors que les autres en ont deux. La vitesse est donc plus grande dans les éléments plus chauds, ce qui les maintient propres intérieurement et les protège contre les coups de feu en assurant un meilleur échange de chaleur. Les coudes de ces éléments

sont faits à la forge par un procédé spécial, avec renforcement de l'extrémité du coude et élargissement du passage intérieur au droit de ce coude pour éviter trop de pertes de charge.

Le fonctionnement du surchauffeur donne satisfaction.

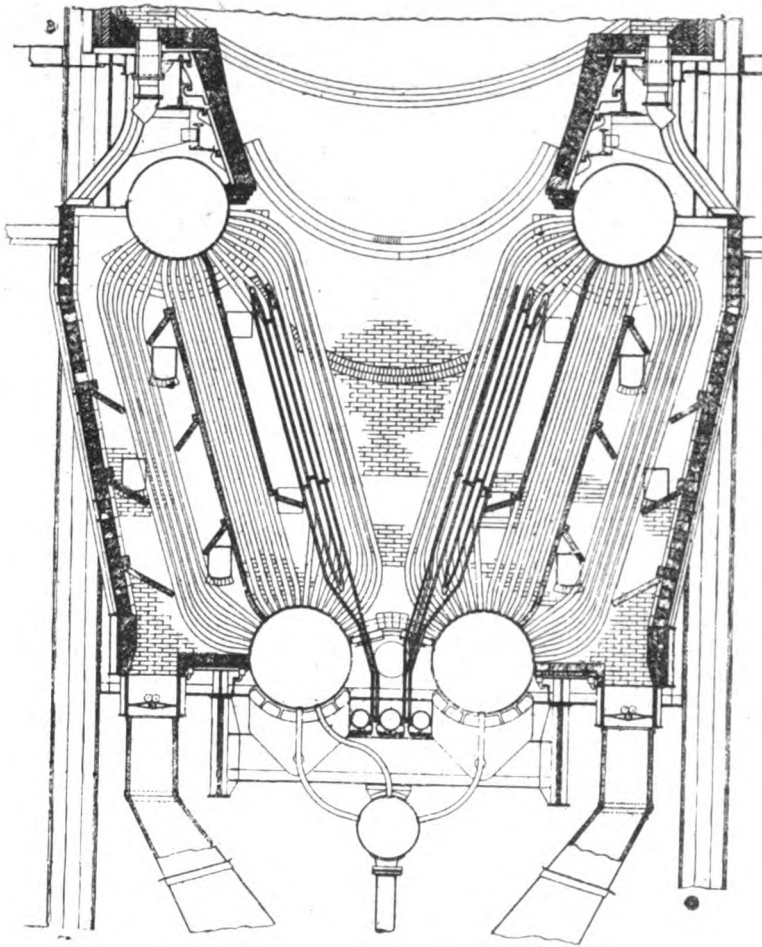


Fig. 6. — Surchauffeur des chaudières de l'usine de « River Rouge »

surchauffée qui débite cette vapeur de l'autre côté de la chaudière. Cette disposition contrariée des arrivées et sorties de vapeur assure un passage bien uniforme de la vapeur à travers tous les éléments.

Ceux-ci sont réunis aux tuyaux qui les desservent par des joints métal sur métal avec contact entre cône et sphère, ce qui permet à chaque joint de se régler de lui-même. Tous ces joints sont placés hors du passage des gaz chauds. On peut les inspecter, les reprendre ou les démonter et remplacer les éléments sans péné-

trer dans la chaudière, ce qui est important pour ces grandes unités qui travaillent pendant de longues périodes sans arrêts.

En outre, l'étude faite a montré que les conditions de combustion du gaz de haut fourneau et du charbon pulvérisé sont tellement analogues qu'il est indiqué de combiner l'usage de ces combustibles. Le charbon pulvérisé peut être traité comme un véritable « gaz

5. Le système de chauffe par gaz de haut fourneau et charbon pulvérisé. —

Une des premières études faites à l'occasion du projet de ces grandes chaudières a porté sur le système de chauffe. L'usine de River Rouge est une usine métallurgique. On voulait utiliser les gaz de haut fourneau de l'usine. Comme la puissance susceptible d'être fournie par ces gaz n'était pas suffisante et cela d'autant moins que l'usine comporte, à côté des installations métallurgiques, des installations mécaniques importantes, on a cherché quel combustible il était préférable d'employer simultanément. Le problème d'utilisation du charbon combiné avec les gaz des hauts fourneaux, bien qu'étudié depuis longtemps, n'a jamais reçu de solution vraiment satisfaisante. L'emploi de chaudières spéciales chauffées au charbon donne une solution acceptable, mais cet arrangement manque de souplesse, nécessite des frais d'installation très élevés et des frais d'exploitation excessifs. Il faut, en effet, établir des installations dont une partie au moins fait double emploi et brûler du charbon en pure perte pendant certaines périodes, car on maintient sou-

vent, pour parer à tout aléa, un certain nombre de chaudières sous les feux sans les utiliser directement. Si, au contraire, il suffit d'ouvrir un brûleur pour obtenir instantanément l'appoint nécessaire, l'installation se trouve présenter le maximum de souplesse.

En outre, l'étude faite a montré que les conditions de combustion du gaz de haut fourneau et du charbon pulvérisé sont tellement analogues qu'il est indiqué de combiner l'usage de ces combustibles. Le charbon pulvérisé peut être traité comme un véritable « gaz

lourd » ; il favorise en outre, par la diffusion de ses particules incandescentes, la propagation de la flamme dans le gaz de haut fourneau, moins facilement inflammable, et l'utilisation de celui-ci se trouve, par suite, améliorée.

La réalisation de cette solution a montré que la combinaison des deux combustibles était effectivement d'un bon rendement et assurait un fonctionnement parfait. Le gaz de haut fourneau est employé sans être épuré et les impuretés qu'il contient produisent seulement une très légère fumée.

Les brûleurs à gaz, au nombre de deux par façade, c'est-à-dire quatre par chaudière, débouchent horizontalement vers le bas du foyer, et les brûleurs à charbon pulvérisé débouchent de haut en bas verticalement au haut du foyer. On peut faire fonctionner les chaudières soit au charbon pulvérisé seul, soit au gaz de haut fourneau seul, soit simultanément avec les deux combustibles.

La chambre de combustion est très grande. On peut avoir une idée de ses dimensions par les indications suivantes : pendant la construction une photographie a été prise montrant huit automobiles Ford garées à l'intérieur du foyer d'une chaudière. La flamme pour arriver au milieu de la chambre de combustion, c'est-à-dire entre les deux collecteurs inférieurs des faisceaux tubulaires, doit parcourir près de 10 m et les produits de la combustion parcourent ensuite 20 ou 25 m pour sortir de la chambre de combustion et traverser les faisceaux tubulaires.

Les brûleurs à gaz fonctionnent naturellement au tirage forcé ; un système de réglage permet de régler la pression de l'air d'après la pression des gaz. L'air et les gaz sont admis par une sorte de grille divisée par des cloisons verticales entre lesquelles arrivent, en lames fines alternées, l'air et les gaz, dont le mélange se trouve ainsi bien assuré.

La préparation du charbon pulvérisé est caractérisée par le fait qu'il n'y a pas de sécheur, le charbon ayant moins de 5 pour 100 d'humidité. La station de pulvérisation comporte quatre broyeurs. Au sortir des broyeurs le charbon est transporté par élévateur et convoyeur à vis jusqu'aux trémies alimentant individuellement les chaudières. Le charbon sortant de la trémie est conduit au brûleur au moyen d'un distributeur à vis. La commande de ces appareils se fait à distance, à proximité d'un panneau donnant toutes les indications caractéristiques sur le débit, l'état de la vapeur et la température des gaz brûlés. On ne peut mettre en route un convoyeur, si les convoyeurs et élévateurs qui l'alimentent ne fonctionnent pas, ni faire fonctionner les pulvérisateurs tant que les convoyeurs et élévateurs ne marchent pas. Des boutons de commande permettent d'obtenir l'arrêt, la marche lente ou la marche rapide.

Chaque pulvérisateur introduit le charbon dans le foyer sous forme de trois jets verticaux en même temps que 10 pour 100 de l'air nécessaire à la combustion. Cet air est refoulé par un ventilateur fonctionnant sous

une pression de 175 mm d'eau. Autour de chaque jet, une gaine permet la rentrée par aspiration de 15 pour 100 d'air. Enfin les 75 derniers centièmes d'air nécessaire arrivent suivant une direction normale au jet de charbon en ignition par de nombreuses petites ouvertures rectangulaires percées dans la façade et munies de portes réglables. La surface de ces ouvertures, pour les deux façades d'une chaudière, est de 5,50 m² environ. On marche pratiquement en tirage équilibré. Pour régler l'allure, on agit sur le distributeur du charbon et sur l'ouverture du registre. Si la variation d'allure est grande, on peut être conduit à régler l'ouverture des volets de façade.

La chambre de combustion ne souffre pas de la température des flammes. Son briquetage intérieur a un aspect bien uni et comme vernissé. La combustion est complète avant que les gaz ne frappent la surface de chauffe qui pourrait les refroidir ; il n'y a pas condensation de fumée et toute la partie supérieure de la chambre de combustion est remplie d'une masse uniformément claire et incandescente, sans rayures de fumée ou de flamme, constituée par un mélange bien homogène de gaz brûlés. On marche normalement avec 15 pour 100 de gaz carbonique.

On estime que les quatre cinquièmes des cendres s'échappent directement par la cheminée, sans inconvénient d'ailleurs pour le voisinage, car, en raison de leur extrême ténuité, le moindre vent emporte les cendres très loin ; elles se répandent donc sur une zone très étendue. Le dernier cinquième des cendres s'accumule au fond de la chambre de combustion et on n'a besoin d'assurer son évacuation qu'à intervalles assez éloignés. La manutention est ainsi grandement simplifiée.

III. Conclusions. — Il semble donc bien que la conception assez audacieuse qui avait présidé à la construction de ces grandes chaudières ait été couronnée de succès. Au moment où les plans furent arrêtés, certains doutes s'étaient fait jour même en Amérique. Maintenant il est couramment admis dans des réunions d'ingénieurs que les grandes chaudières sont aussi sûres que les petites chaudières d'il y a quinze ans et probablement plus sûres que les grandes turbines.

Il ne faut pas évidemment trop réduire le nombre des unités installées, car l'arrêt d'une chaudière diminuerait de façon trop considérable les ressources de la station. Le personnel de l'usine de River Rouge déclare qu'il serait plus à l'aise avec huit grandes unités qu'avec quatre, mais il reconnaît qu'avec les douze chaudières prévues, l'installation sera d'une grande souplesse. La répartition de la puissance totale entre quatre unités entraîne évidemment des sujétions sérieuses ; elle n'est admissible que dans une période d'attente en vue d'agrandissements ultérieurs. Cette réserve faite, il ne reste vraiment pas d'objection à l'emploi des grandes chaudières dans les grandes centrales.

Cette idée est si bien admise en Amérique que la

mise en service de chaudières de 2 500 m³ est considérée comme une étape vers la réalisation de chaudières beaucoup plus importantes.

Le développement de la demande d'électricité, la tendance à la concentration des entreprises, le souci

d'abaisser le prix de revient expliquent la création de centrales considérables et il est naturel que l'importance des appareils unitaires suive le développement des usines qui les utilisent.

C. RADIGUER.

Revue, analyses et informations

Au sujet de la question de la mise à la terre du fil neutre ⁽¹⁾.

La mise à la terre du fil neutre, dans les installations à la terre du fil neutre, soit sur les réseaux à courant continu à 2×250 v, soit sur ceux à courant triphasé à 3×380 v, qui est prescrite par les règlements en vigueur, pose, subsidiairement, une question sur la solution de laquelle l'opinion des théoriciens est assez partagée; cette question est celle de savoir s'il convient de mettre le conducteur à la terre, seulement à la centrale, ou bien s'il est opportun de créer un certain nombre de terres réparties sur toute la longueur du fil neutre.

La première de ces deux pratiques présente les avantages suivants : 1° possibilité d'établir, en un point unique, une connexion à la terre, d'installation coûteuse, il est vrai, mais d'un fonctionnement sûr et susceptible, en tout cas, d'être contrôlée à intervalles fixés; 2° possibilité, également, de procéder à des mesures d'isolement du réseau à condition de débrancher au préalable le conducteur neutre; cette opération étant, par contre, d'une exécution quasi-impraticable dans le cas où il existe, sur ce même fil, un assez grand nombre de terres distribuées d'une façon plus ou moins régulière.

Le système comporte, cependant, un inconvénient qui a son importance, puisque la mise à la terre se trouve automatiquement supprimée sur tout le réseau par le fait de la rupture du conducteur neutre.

Si l'on essaie de prévoir, par la théorie, ce qui advient au sujet des tensions, en des points caractéristiques de la distribution, dans les deux hypothèses : a) d'un court-circuit entre le fil neutre et un pôle ou une phase et b) d'un défaut à la terre accusé survenant à un pôle ou sur une phase, on est conduit, à la suite de développements algébriques simples, aux conclusions résumées ci-après :

Hypothèse a) (fig. 1). — Un court-circuit se produit entre

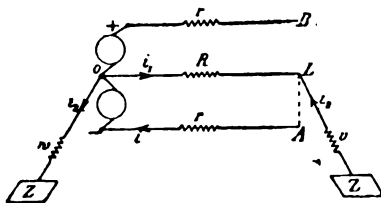


Fig. 1. — Diagramme schématisant un court-circuit entre un pôle ou une phase et le fil neutre.

le pôle négatif et le fil neutre aux points A et L; on admet que les différentes terres réparties le long du conducteur

médian sont remplacées par deux résistances w et v , insérées en O et L. E désignant la tension aux bornes d'une dynamo, on trouve que, dans le cas de l'existence d'une seule terre, placée à la centrale, la tension par rapport à la terre du conducteur fonctionnant normalement, au moment du court circuit sur l'autre conducteur, ne dépasse pas la valeur E de la demi-tension composée régnant en temps ordinaire, dans la distribution; mais, si le fil neutre est mis à la terre en plusieurs points, la même tension est, par contre, toujours supérieure à E , et va se rapprochant de la limite $E + \frac{1}{2} E$ à mesure que r et w augmentent jusqu'à l' ∞ .

Hypothèse b) (fig. 2). — Un défaut à la terre de résis-

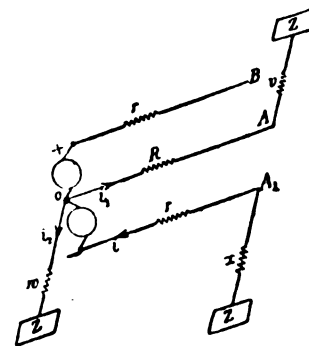


Fig. 2. — Diagramme schématisant un défaut à la terre de résistance x sur le pôle négatif

tance x se produit au pôle négatif au point A₁. Le calcul montre encore, dans cette hypothèse, que le conducteur même acquiert une tension comparative plus élevée (dépendant de la grandeur x) que dans le cas de la pluralité des mises à la terre sur le fil neutre.

On arriverait à une conclusion analogue dans l'hypothèse, un peu plus complexe, mais facile à traiter suivant les mêmes principes, où un défaut à la terre se produirait sur un conducteur extérieur en même temps qu'un court-circuit entre le fil neutre et le troisième conducteur.

Ces résultats constituent, suivant l'opinion de l'auteur, un argument puissant en faveur du système de mise à la terre, en un seul point, du conducteur neutre. Il juge bon, toutefois, d'ajouter que, en raison des inconvénients et même du danger susceptible de découler, en exploitation, de la rupture de ce conducteur, il comporte de prendre, à son sujet, des précautions encore plus strictes que celles ordinairement en usage : ce conducteur devra être, en particulier, isolé sur toute sa longueur; sa section devra être choisie assez forte pour qu'il offre des garanties suffisantes au point de vue de la résistance mécanique, la chute de tension et l'intensité du courant étant, en même temps, maintenues en

⁽¹⁾ R. SZAPIRO, *Elektrotechnik und Maschinenbau*, 18 décembre 1921, t. XXIX, p. 617-619, 2 500 mots, 2 fig., 2 tab.

dessous de limites admissibles, au moment de la survenance d'un court-circuit.

Si l'on adopte le système de la mise à la terre unique du fil neutre, il convient de ne point perdre de vue la conséquence qui en résulte touchant la position à prendre en ce qui concerne la question très disputée de l'établissement d'une connexion entre certaines parties des appareils électriques, montures d'appareils d'éclairage, etc., et le conducteur neutre; une liaison de cette nature reviendrait évidemment à accroître le nombre des points de mise à la terre sur ledit conducteur.

Si l'on emploie, pour la distribution, des câbles sous plomb, il est possible, au reste, d'atteindre le but recherché par le mode de connexion indiqué qui consiste, comme on le sait, à assurer le fonctionnement rapide et sûr des coupe-circuits au cas d'un défaut à la terre sur un pôle ou sur une phase, en reliant, à la centrale, la gaine de plomb à la terre installée en cet endroit sur le fil neutre. Les pièces des machines et appareils électriques, qui devraient être, autrement, connectées avec le fil neutre, sont reliées à la gaine de plomb, qui joue le rôle de conducteur au cas où un défaut à la terre vient à se produire dans la distribution. La disposition signalée a pour effet de diminuer la résistance efficace de la terre réalisée à la centrale; mais elle n'est naturellement, applicable qu'à condition de ne point dépasser, pour le courant circulant dans le plomb, une certaine limite, au delà de laquelle l'intégrité de cette partie constitutive du câble pourrait être compromise. — L. D.

Essais faits en 1907 par la Pennsylvania Railroad sur des locomotives électriques ⁽¹⁾.

Lorsqu'il s'est agi de fixer le type des locomotives électriques à construire pour l'exploitation de la gare souterraine de New-York, la Pennsylvania Railroad a entrepris, au préalable, toute une série d'essais entre les locomotives à vapeur et les types existants de locomotives électriques pour comparer leur stabilité à grande vitesse. La conclusion qui parut ressortir de ces essais fut la supériorité du type de la locomotive électrique avec disposition dyssymétrique sur le type à deux boggies moteurs. Le type à deux boggies moteurs articulés entre eux est certainement le plus mauvais de tous, mais il a été impossible de savoir s'il fallait attribuer son instabilité à l'abaissement du centre de gravité ou à l'articulation des deux trucks entre eux. Il est à remarquer que la hauteur de 1,39 m du centre de gravité au-dessus du rail était la même sur deux des locomotives numérotées 0 28 et 10 003; cependant l'allure de la 10 003 était bien meilleure. Cette comparaison était particulièrement intéressante, parce que l'entraînement pour ces deux machines était semblable (entraînement par manchon « quill »).

Le résultat de tous ces essais fut qu'on abandonna tous les types de locomotives essayés pour adopter un type entièrement nouveau. Ce type (fig. 1) consistait en deux machines 4-4-0 accouplées dos à dos, munies, chacune, d'un seul moteur logé dans la cabine et relié par bielles et manivelles à un

faux essieu; celui-ci, situé dans le plan horizontal des axes des essieux moteurs, leur était réuni par des bielles comme dans une locomotive à vapeur; de cette façon, on réalisait non seulement la disposition dyssymétrique de chaque unité, mais encore l'élévation du centre de gravité de la partie suspendue. Les locomotives furent construites et essayées à temps pour commencer le service de la nouvelle gare de New-York en 1910 et, depuis, elles ont toujours fait convenablement le service.

Cela ne veut pas dire que ce type de locomotive ait résolu la question de la stabilité. Il fallait faire vite, on a choisi ce type et on a réussi, mais ce n'est qu'un point de départ pour la connaissance de la vérité complète. Depuis cette époque, la Pennsylvania a fait un grand nombre d'autres essais dans lesquels les traverses reliant les rails étaient disposées de

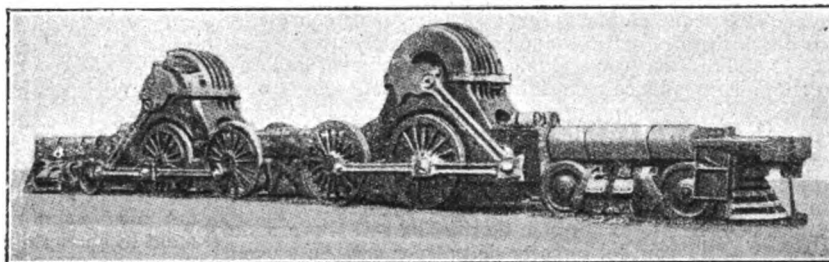


Fig. 1. — Châssis de la locomotive électrique adoptée.

façon à enregistrer les percussions à leurs deux extrémités. On augmenta également la longueur de la voie d'essais.

On étudia, de cette façon, les différentes méthodes d'accouplement des locomotives complètes entre elles. On s'occupa également de l'effet des dénivellations de voie intentionnellement créées dans la partie de voie adjacente à la voie d'essai et de l'effet du jeu croissant des boîtes dans leurs glissières; on étudia encore l'influence de l'augmentation et de la diminution du contrepoids relatif aux pièces à mouvement alternatif sur des locomotives à vapeur. On a réuni ainsi une masse énorme de documents, d'où il résulte des informations très précieuses, mais qui n'ont pas encore donné la clé du problème de la stabilité. Le travail qu'a fait la Pennsylvania n'est, en définitive, qu'une amorce des études qui devront être poursuivies dans l'avenir. — M.-H. B.

Chronographe électrique enregistrant, en chiffres, le temps au centième de seconde ⁽¹⁾.

Ce chronographe imprimant, électrique, se compose de deux parties essentielles distinctes : 1° Un moteur électrique synchronisé, combiné pour imposer un mouvement de rotation bien uniforme à un arbre, sous le contrôle intermittent d'une horloge ou d'un chronomètre pourvu de contacts électriques; 2° un mécanisme imprimant, dans lequel le moteur synchronisé produit l'avance des tambours chiffres, dont l'empreinte est prise en temps voulu à l'aide d'un mécanisme de frappe.

Les caractéristiques de ce chronographe sont les suivantes :
1° Emploi exclusif de l'électricité comme puissance motrice, tant pour produire le mouvement de la chiffraison que pour les opérations d'impression proprement dites :

⁽¹⁾ *Revue générale des Chemins de Fer et des Tramways*, mai 1922, t. XLII, n° 5, p. 407-415, 3 500 mots, 14 fig.

⁽¹⁾ Henri CHÉRIEN et Paul DITISHEIM. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 10 avril 1922, t. CLXXIV, p. 999-1003, 1000 mots, 1 fig.

frappe des types, avance du papier, etc. Ceci permet de réduire considérablement les dimensions totales du chronographe sans accroître d'une manière appréciable celles de la source électrique, indispensable dans tous les cas. L'énergie électrique nécessaire est fournie par un élément d'accumulateur de 40 A-h de capacité :

2° Dispositif de synchronisation à vitesse intermédiaire constante, c'est-à-dire assurant non seulement l'uniformité moyenne de la vitesse, comme cela a lieu dans les chronographes actuels, à vitesse corrigée (ralentie) périodiquement, par la synchronisation, et qui présentent, par suite, ce que les astronomes appellent une *équation décimale*, mais assurant encore l'uniformité de la *vitesse instantanée* elle-même ;

3° Caractère isolé et discontinu de la chiffraison imprimée, de sorte que les caractères se présentent sur une seule ligne et seulement ceux qui sont utiles pour la lecture, ce qui n'est pas le cas des chronographes à allure continue, où l'impression comporte non seulement les caractères à retenir mais encore ceux qui sont situés de part et d'autre, et où la lecture de chaque chiffre ne peut se faire qu'en considération du chiffre des unités immédiatement inférieures ;

4° Immobilisation complète des types au moment de l'impression, conséquence nécessaire du caractère discontinu des impressions, ce qui présente, d'autre part, l'avantage d'assurer la netteté parfaite de celle-ci.

PRINCIPE DE LA SYNCHRONISATION À VITESSE INTERMÉDIAIRE CONSTANCE. -- Considérons un moteur électrique à courant continu dont la vitesse normale de rotation soit plus grande que celle qu'on veut lui imposer définitivement. Au moyen d'un interrupteur multiple spécial, dit *échappement électrique*, le courant est lancé dans le moteur et coupé périodiquement ; les fermetures du circuit, commandées par le chronomètre directeur, se succèdent à *intervalles de temps égaux* ; les ouvertures du circuit, commandées par une came calée sur un arbre entraîné par le moteur lui-même au moyen d'un réducteur de vitesse, se produisent à *intervalles angulaires égaux*, correspondant au nombre de tours que le moteur doit faire dans chaque intervalle de temps. L'échappement électrique joue donc le rôle d'un échappement mixte ; il fonctionne comme *échappement à temps* pour la fermeture du circuit et comme *échappement de position* pour sa rupture.

On conçoit facilement que, dans ces conditions, un régime tende à s'établir dans lequel l'intervalle de synchronisation se scinde en deux intervalles, durant le premier desquels l'énergie que la source fournit au moteur est égale à celle qu'il dissipe pendant toute la période. La vitesse de régime aura donc une allure périodique : elle oscillera entre deux valeurs Ω_m et Ω_M , atteignant la plus petite d'entre elles, Ω_m , au moment de la fermeture du circuit par le chronomètre directeur, et la plus grande, Ω_M , au moment de la rupture du circuit par le moteur lui-même.

Telle est la méthode de synchronisation imaginée par M. W.-P. Gerrish, de l'Observatoire d'Harvard College et appliquée par lui à l'entraînement de quelques équatoriaux de l'Observatoire.

On voit qu'un moteur synchronisé par cette méthode ne tourne pas avec une vitesse *intermédiaire* constante. On peut, il est vrai, réduire l'oscillation de la vitesse à telle valeur que l'on veut par l'adjonction d'un volant de moment d'inertie approprié, ainsi que le fait M. Gerrish.

Mais l'emploi d'un volant pour diminuer le coefficient d'irrégularité du moteur présente un gros inconvénient pour l'application que l'on a en vue ici ; les variations de vitesse étant ralenties, la prise de régime est longue, ce qui constitue déjà un inconvénient en soi, mais fait en outre que tout dérangement intempêtif dans la marche du moteur est lent à disparaître. En d'autres termes, la liaison synchronisante est trop *lèche*.

Les auteurs sont parvenus à résoudre cette difficulté par l'artifice suivant :

Par l'emploi d'une force électromotrice convenable et au moyen d'une résistance de réglage placée en série avec l'induit, on peut faire en sorte qu'en régime la durée de la phase d'accélération du moteur soit très sensiblement égale à celle de sa phase de ralentissement. Les accélérations moyennes pendant ces deux périodes sont alors égales et de signes contraires.

Ceci posé, considérons un deuxième moteur, de tous points identique au premier et synchronisé de la même manière, mais pour lesquels les époques de fermeture du circuit sont exactement à cheval sur les époques analogues du premier moteur. Les mouvements de ces deux moteurs sont alors sensiblement en opposition de phase, la vitesse du premier s'accroissant quand celle du second se ralentit, et réciproquement. La moyenne arithmétique de ces vitesses, que l'on utilise mécaniquement par l'emploi d'un train différentiel, est constante à un très haut degré d'approximation, et cela, même avec un moment d'inertie très faible et un amortissement énergétique.

M.-H. B.

Appareil pour la dissociation rapide des images dans la cinématographie par étincelle électrique (1).

L'emploi de l'étincelle électrique pour la cinématographie des mouvements rapides a permis d'étendre considérablement le champ d'investigation de cette admirable méthode d'analyse. Depuis une dizaine d'années les développements de la télégraphie sans fil, en fournissant les moyens de produire des séries d'étincelles à une très haute fréquence, ont permis de reculer encore les limites de ce champ. C'est ainsi que Cranz et Glatzel ont pu obtenir des cinématogrammes allant jusqu'à une fréquence de 92 000 images par seconde.

La difficulté technique ne consiste donc plus aujourd'hui à obtenir une fréquence suffisante d'étincelles, mais plutôt à dissocier les images qu'elles fournissent sur la surface sensible chargée de les recueillir. Celle-ci est généralement un film enroulé autour d'un cylindre auquel on imprime un mouvement de rotation le plus rapide possible. L'instantanéité de l'étincelle étant telle que l'image photographique qu'elle donne est nette malgré le mouvement du film. Mais il n'est pas facile avec un cylindre tournant de dépasser beaucoup une vitesse linéaire de 100 m : s et dans ces conditions le film, lorsque les étincelles se succèdent à des intervalles de 0,00002 s par exemple, ne se déplace que de 2 mm ce qui revient à dire que les images photographiques ne peuvent avoir que 2 mm de large. Quoique cette étroitesse d'image puisse être suffisante dans certains cas où le phénomène se développe suivant une seule direction, il en est d'autres où il peut être indispensable d'avoir des images plus larges.

L'appareil préconisé et construit par l'auteur permet de réaliser ces conditions. Dans cet appareil, la dissociation des images se fait de la façon inverse ; le film reste immobile et le train d'images, reçu d'abord sur un prisme à réflexion totale, est renvoyé, dissocié par une rotation rapide de celui-ci.

Le seul inconvénient de cette méthode est que les images ne restent pas parallèles entre elles d'une extrémité du film à l'autre ; elles tournent sur elles-mêmes en même temps que le prisme et avec la même vitesse angulaire. Pour l'analyse des phénomènes, cette rotation n'a pas d'importance ; mais si l'on désire faire la synthèse du mouvement par la projection, il est nécessaire, au moment du tirage du positif, de rectifier la position des images. — M.-H. B.

(1) L. BULL. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 18 avril 1922. t. CLXXIV, p. 1059-1061, 600 mots, 1 fig.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Compagnie d'Electricité de Limoges (Compagnie centrale d'Eclairage et de Transport de Force par l'Electricité).

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 29 AVRIL 1922.

Durant l'exercice, les dépenses sont en augmentation par suite de la durée de la sécheresse exceptionnelle qui a provoqué un excédent de consommation de charbon, des réparations de machines que la société a dû exécuter et enfin de la hausse continue des frais généraux.

Le nombre des abonnés branchés sur le réseau est en augmentation :

Pour Limoges, 6177 en 1921 au lieu de 5637 en 1920.

Pour Lubersac, 206 en 1921 au lieu de 190 en 1920.

Au 31 décembre 1921, le nombre total des lampes à incandescence installées chez les abonnés de Limoges était de 107 252 pour une puissance de 4 290 kw ;

Le nombre des lampes à arc ou lampes de fortes intensités était de 576, pour une puissance de 172 kw ;

Le nombre des moteurs industriels, non compris les moteurs de la sous-station des tramways, était de 1592, représentant une puissance de 6 415 kw ;

La puissance de la sous-station des tramways est de 200 kw, ce qui constitue un ensemble de puissance de 11077 kw.

Il a été posé en 1921 : 1880 km de câble armé à 3 conducteurs de 25, 30 et 50 mm² de section, basse tension ;

2,530 km de câble armé à 3 conducteurs de 10, 25 et 100 mm² de section, haute tension ;

1,800 km de canalisation aérienne.

Au cours de l'année 1921, la compagnie a créé 14 nouveaux postes de transformateurs et augmenté la puissance de 12 anciens.

3 postes ont été supprimés.

Au 31 décembre 1921, le nombre des transformateurs était de 215 pour une puissance de 9647 kv-a.

La compagnie s'est entendue avec la ville de Limoges pour l'installation de 226 candélabres pour l'éclairage public.

Les recettes d'éclairage et de force motrice se sont élevées pour Limoges, Brive et Lubersac à 4866172,40 fr. en augmentation de 1610474,05 fr.

Les dépenses atteignent 3753224,16 fr. en augmentation de 1412702,31 fr. en 1920.

Les bénéfices nets s'élèvent à 699823,44 fr. si de ce solde on déduit le remboursement des obligations amorties en 1921, il reste 651993,29 fr.

Sur cette somme, il y a lieu de prélever, tout d'abord, 6 pour 100 de dividende aux actions, et 15000 fr pour amortissement de ces mêmes actions.

Sur l'excédent de 468993,20 fr. il est prélevé 225000 fr pour amortissements. Le solde se répartit : 10 pour 100 au Conseil, un dividende supplémentaire de 4 pour 100 aux actions. Le report à nouveau est de 105593,97 fr.

Les différents comptes de réserves et amortissements s'élèvent à :

285000 fr réserve légale,

322346,80 fr. fonds d'amortissement des actions,

4330574,36 fr fonds d'amortissement pour premier établissement.

Le dividende de l'exercice 1921, fixé à 10 fr par action de 100 fr, privilégiée ou ordinaire, est mis en paiement à partir du 1^{er} mai 1922 aux caisses du Crédit mobilier français, 30 et 32, rue Taitbout, à Paris, à raison de : 9 fr par action privilégiée ou ordinaire nominative, sur présentation du certificat ; 8,55 fr par action privilégiée au porteur, contre remise du coupon n° 23 ; 8,55 fr par action ordinaire au porteur, contre remise du coupon n° 21.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1921.

Actif.

| | fr |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Apports suivants statuts..... | 500 000 » |
| Premier établissement..... | 9 905 040,05 |
| Compteurs..... | 1 » |
| Titres en portefeuille..... | 65 253 » |
| Marchandises en magasin..... | 173 171,40 |
| Abonnés..... | 814 972,25 |
| Cautionnements, avances diverses et installations à rembourser..... | 466 117,10 |
| Caisses et banques..... | 663 935,19 |
| Impôts sur titres à recouvrer..... | 38 171,05 |
| Prime de remboursement sur obligations..... | 2 077 658,30 |
| | <u>14 204 619,34</u> |

Passif.

| | fr |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------|
| Capital : | |
| Obligations en circulation : | 2 850 000 » |
| 6 pour 100..... | 2 979 000 » |
| 4 pour 100..... | 1 350 000 » |
| 3 pour 100..... | 4 426 500 » |
| Réserve légale..... | 285 000 » |
| Fonds d'amortissement des actions..... | 307 336,80 |
| Créditeurs divers..... | 171 091,10 |
| Fournisseurs..... | 364 671,95 |
| Avances sur canalisations..... | 1 765,45 |
| Obligations amorties et coupons échus non encore présentés..... | 157 603,10 |
| Provision pour entretien d'accumulateurs..... | 140 070,65 |
| Provision pour créances douteuses ou litigieuses..... | 220 831,65 |
| Compte d'ordre..... | 250 925,20 |
| Profits et pertes : | |
| Exercice 1921..... | 699 823,44 |
| | <u>14 204 619,34</u> |

Energie électrique du Sud-Ouest.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 12 MAI 1922.

L'année 1921 a été caractérisée par une sécheresse tout à fait exceptionnelle, laissant bien loin en arrière les années les plus sèches connues. Le débit de la Dordogne ayant été à l'étiage et bien au-dessous de l'étiage normal pendant une grande partie de l'exercice 1921, il a fallu recourir dans une large mesure à la production des usines thermiques de Tullière et de Floirac.

Malgré la crise économique qui a continué à sévir en 1921 encore plus fortement que pendant l'exercice précédent, la consommation des réseaux a notablement augmenté

par suite du raccordement de nouveaux clients et des quantités d'énergie toujours plus considérables utilisées pour l'éclairage et les services publics. De ce chef, la recette réalisée pendant l'exercice a été en sensible augmentation par rapport à celle de l'année précédente. D'autre part, le prix de revient de la production thermique, nécessaire pour compenser le déficit de la puissance hydraulique provenant de la sécheresse, a été atténué par la baisse des prix du charbon dont l'influence s'est aussi fait sentir dans le prix de vente de l'énergie électrique, grâce au jeu de l'index économique.

En 1921, la puissance raccordée en kilowatts pour la vente en gros aux concessionnaires a été de 16285. Il y a eu 16010 polices d'éclairage formant un total de 148641 lampes. Pour la force motrice, le nombre de polices a été de 1621, correspondant à une puissance de 24 076 ch.

La longueur des artères à 50 000 v est de 407 km, la longueur des lignes à 13 000 v est de 782 km et la longueur des réseaux secondaires de distribution à basse tension, 339 km.

Le premier groupe de l'usine hydraulique de Mauzac a été mis en service à la fin du mois de mai 1921; les autres groupes ont suivi au fur et à mesure de l'achèvement des montages et l'ensemble a été mis en plein fonctionnement avant la fin de l'année; la marche de l'usine a donné toute satisfaction; il reste à terminer la mise en place des vannes automatiques du barrage qui permettront de mieux utiliser la totalité de la chute; cet achèvement aura lieu pendant l'été 1922.

Si la baisse du prix des charbons entraîne une diminution du prix de vente de l'énergie, pour le plus grand profit de la clientèle, elle détermine aussi une diminution des frais de marche des usines thermiques. La sécheresse de 1921 a montré combien il était nécessaire d'avoir dans tout réseau alimenté par des usines hydrauliques des possibilités de production thermique suffisantes pour parer aux éventualités des années de sécheresse; il a été avantageux pour la clientèle, à laquelle aucune restriction n'a été appliquée pendant l'été et l'automne si exceptionnellement secs de 1921, que les disponibilités de nos usines thermiques aient permis de faire face à toutes les exigences d'un service normal.

Comme suite aux déclarations faites dans l'assemblée générale ordinaire du 24 juin 1921, les actionnaires ont décidé dans l'assemblée générale extraordinaire du 2 septembre 1921, que le capital de la société pourrait être augmenté en une ou plusieurs fois de 30 millions de francs, au moyen de l'émission de 60 000 actions nouvelles, dites de priorité, de 500 fr chacune.

Usant des autorisations qui lui avaient été données, le Conseil a décidé, dans sa séance du 7 octobre 1921, de procéder à la réalisation d'une première fraction de 20 millions de francs sur l'augmentation de capital de 30 millions de francs ainsi autorisée, et ce, par la création de 40 000 actions de priorité, qui ont été émises au pair de 500 fr, payables entièrement lors de la souscription.

Cette augmentation du capital à 50 millions de francs a été rendue définitive par l'assemblée générale extraordinaire du 31 décembre 1921, de telle sorte que les 40 000 actions de priorité ne participent aux bénéfices qu'à partir du 1^{er} janvier 1922.

Le Conseil, poursuivant ses efforts pour consolider la dette flottante de la société, s'est préoccupé de l'émission d'un emprunt par obligations de 20 millions de francs, l'émission de cet emprunt a eu lieu récemment avec succès.

Les recettes d'exploitation se sont élevées à 18 905 201,53 fr en augmentation de plus de 3 millions sur les recettes de 1920.

Les dépenses d'exploitation atteignent 12 952 748,27 fr contre 12 508 986,35 fr en 1920, ce qui montre que ces

dépenses n'ont pas progressé dans la même proportion que les recettes.

Le total des bénéfices d'exploitation est de 5 952 453,26 fr, dépassant ainsi de près de 3 millions ceux de 1920.

Mais, par contre, le solde du compte « intérêts et divers » 747 794,69 fr à ajouter, est très inférieur à celui de 1920 (3 316 262,72 fr).

De sorte qu'en fin de compte, l'ensemble 6 700 247,95 fr n'est que légèrement supérieur à celui de 1920 (6 453 044 fr).

Du total, il y a lieu de déduire le montant des frais généraux d'administration, abonnements au timbre, intérêts des obligations et impôts à la charge de la société, soit un total de 3 990 163,98 fr.

Ce qui laisse un bénéfice net de 2 710 083,97 fr contre 2 549 972,82 en 1920.

Les amortissements d'usage s'élèvent au total de 317 438,91 fr; à cette somme il y a lieu d'ajouter provision pour l'exercice 1922, 700 000 fr et réserve pour régularisation des frais de marche à vapeur et grosses réparations, 300 000 fr.

Le bénéfice net disponible est de 1 392 645,06 fr auquel il y a lieu d'ajouter le report de 1920, 652 245,98 fr.

Le solde du compte de « profits et pertes » de 2 044 891,04 fr se répartit : 5 pour 100 à la réserve légale.

6 pour 100 de dividende, soit 30 fr par titre aux 60 000 actions ordinaires.

138 884,85 fr à la réserve extraordinaire.

Le report à nouveau est de 363 744,94 fr.

Le dividende de 30 fr par action ordinaire sera mis en paiement à partir du 15 juin 1922, sous déduction des impôts établis par les lois de finances, contre remise du coupon n° 7.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1921.

| | fr |
|----------------------------------------------|-----------------------|
| Actif. | |
| Frais de constitution..... | 1 » |
| Frais d'augmentation de capital de 1921..... | 1 038 311,20 |
| Dépenses d'installations..... | 142 604 804,72 |
| Installations en location..... | 1 » |
| Matériel en location..... | 275 608,58 |
| Mobilier et outillage..... | 1 » |
| Approvisionnements..... | 3 819 627,77 |
| Caisse et banquiers..... | 22 033 942,80 |
| Factures à recouvrer..... | 3 651 866,93 |
| Débiteurs divers..... | 668 300,52 |
| Cautionnements et dépôts de garantie..... | 48 210,65 |
| Impôts sur titres à recouvrer..... | 258 650,80 |
| Participations..... | 636 127 » |
| Comptes d'ordre et divers..... | 523 745,51 |
| | <u>175 569 199,48</u> |

| | fr |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Passif. | |
| Capital : | |
| 60 000 actions ordinaires de 500 fr..... | 30 000 000 » |
| 40 000 actions de priorité de 500 fr..... | 20 000 000 » |
| Obligations : | |
| Emprunt 5 pour 100, 1909..... | 13 090 000 » |
| Emprunt 6 pour 100, 1916 (vertes)..... | 7 576 250 » |
| Emprunt 6 pour 100, 1917 (rouges)..... | 15 040 000 » |
| Emprunt 6 pour 100, 1919 (violettes)..... | 19 000 000 » |
| Réserve légale..... | 561 991,96 |
| Réserve extraordinaire..... | 211 115,15 |
| Réserve d'amortissement..... | 1 013 750 » |
| Réserve pour régularisation des frais de marche à vapeur et grosses réparations..... | 1 000 000 » |
| Créditeurs divers..... | 56 504 122,62 |
| Fournisseurs et entrepreneurs..... | 6 382 415,46 |
| Cautionnements et avances sur consommation..... | 594 963,59 |
| Coupons à payer et obligations à rembourser..... | 1 509 399,78 |
| Comptes d'ordre et divers..... | 340 299,88 |
| Provision pour l'exercice 1922..... | 700 000 » |
| Profits et pertes..... | 2 044 891,04 |
| | <u>175 569 199,48</u> |

SECTION DE LEGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices de guerre et de l'impôt sur les bénéfices commerciaux.

Le « Journal officiel » du 9 avril 1922 publie, p. 1 469 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse suivantes :

12 826. — M. Henri Laniel, député, demande à M. le ministre des Finances de quelle façon doivent être appliqués les impôts cédulaires et globaux : si, par exemple, sur les bénéfices réalisés par un commerçant l'impôt de 8 pour 100 sur les bénéfices commerciaux doit tout d'abord être prélevé et l'impôt sur les bénéfices de guerre calculé sur la différence ou si la méthode inverse doit être suivie. (Question du 7 mars 1922.)

Réponse. — Les bénéfices professionnels réalisés pendant une année déterminée ne doivent être retenus, pour l'établissement des impôts de l'année suivante, que sous déduction du montant de la contribution extraordinaire prélevée sur ces mêmes bénéfices.

Sur l'application de l'impôt sur le chiffre d'affaires, aux affaires traitées en participation.

Le « Journal officiel » du 28 avril 1922 publie, page 1505 des « Débats parlementaires, Chambre », la question et la réponse qui suivent :

13064. — M. Tisseyre, député, demande à M. le ministre des Finances si, lorsque deux négociants font une affaire en participation, la marchandise étant achetée et livrée par l'un d'eux, mais facturée à l'acheteur par le second, l'impôt sur le chiffre d'affaires doit être payé par le premier qui, obligatoirement, débite la participation des marchandises qu'il a achetées et livrées alors qu'il sera également payé par le second qui facture à l'acheteur et encaisse le produit de la vente, ajoutant qu'une affaire de ce genre figure effectivement sur deux comptabilités, mais ne comporte qu'une seule transaction. (Question du 18 mars 1922.)

Réponse. — Si les deux négociants peuvent justifier que l'acquisition a été faite par l'un d'eux, en vertu d'une convention antérieure à l'achat, pour leur compte commun, l'impôt sur le chiffre d'affaires est exigible une seule fois sur le prix de la revente effectuée pour le compte de la participation et n'est pas dû en raison des versements effectués par l'un des co-participants à l'autre pour le règlement du prix d'achat et de vente. A défaut de cette justification, on devrait considérer que la marchandise achetée par l'un des négociants a été vendue par lui à l'autre négociant et a été revendue ensuite par ce dernier, de sorte que chacun des négociants considérés serait redevable de l'impôt sur le chiffre d'affaires sur la valeur totale de la marchandise.

Loi modifiant la loi du 2 juillet 1919 instituant le règlement transactionnel.

Voici le texte de cette loi, en date du 28 avril 1922 et publiée au « Journal officiel » du 30 avril :

ARTICLE PREMIER. — Les articles 1^{er}, 2, 4, 12, 13, 22, 23, 25 et 27 de la loi du 2 juillet 1919 relative à l'institution d'un

règlement transactionnel pour cause générale de guerre entre les commerçants et leurs créanciers sont modifiés et complétés ainsi qu'il suit :

« Article premier. — A dater de la promulgation de la présente loi et jusqu'à l'expiration des trois années qui suivront la ratification du traité de paix, tout commerçant qui ne peut faire face à ses engagements pour cause générale de guerre peut demander à ses créanciers le bénéfice du règlement transactionnel dans les formes et conditions prescrites ci-après :

» Art. 2. — Le début du deuxième alinéa est modifié comme suit :

» 1^o Du bilan du débiteur contenant l'indication complète de la situation active et passive et notamment de tous les marchés à livrer tant à son profit qu'à sa charge ;

» 2^o »

L'avant-dernier alinéa de cet article est remplacé par la disposition suivante :

« Toute personne peut obtenir communication de ce répertoire sans déplacement et sans frais et s'en faire délivrer un extrait par le greffe. »

« Art. 3. — Le dernier alinéa de cet article est complété comme suit :

» Le jugement admettant la requête est mentionné au répertoire prévu par l'alinéa 4 de l'article premier, ainsi qu'au registre du commerce. Il n'est l'objet d'aucune autre publicité à peine de l'amende et des dommages-intérêts prévus à l'article 2.

» Il n'est susceptible d'aucun recours et ne peut être attaqué par la voie de la tierce opposition. »

Art. 12. — Le second alinéa de cet article est remplacé par les dispositions suivantes :

« Le règlement sollicité ne peut comporter aucune réduction sur le chiffre des créances et ne peut impliquer que la concession de délais, qui ne devront en aucun cas dépasser cinq années. Le règlement est soumis à l'homologation facultative du tribunal sur requête déposée au greffe par l'administrateur. »

L'avant-dernier alinéa de cet article est complété par la disposition suivante :

« Le tribunal peut imposer au débiteur le payement d'intérêts moratoires dont il fixe le point de départ et le taux dans la limite du taux légal. »

Art. 13. — Cet article est remplacé par les dispositions suivantes :

« Le jugement d'homologation est mentionné au répertoire prescrit par l'alinéa 4 de l'article 2 ci-dessus, ainsi qu'au registre de commerce. »

» Il n'est l'objet d'aucune autre publicité, à peine de l'amende et des dommages-intérêts prévus audit article. »

» Mention sera faite au registre du commerce du jugement de décharge qui vaudra radiation. »

Art. 22. — Cet article est remplacé par les dispositions suivantes :

« Les sociétés qui entendent obtenir de leurs créanciers autres que les obligataires le règlement transactionnel prévu par les articles 1^{er} et 2 ci-dessus sont tenues de procéder en la forme déterminée ci-après :

« Pour les sociétés en nom collectif ou en commandite, la requête est signée par celui ou par ceux des associés qui disposent de la signature sociale, »

» Pour les sociétés anonymes ou en commandite par actions, la requête est signée par l'administrateur délégué, le directeur, ou l'un des administrateurs spécialement autorisé à cet effet par une délibération du conseil d'administration prise conformément à la règle indiquée par les statuts.

» Jusqu'à la date à laquelle le jugement d'homologation devient définitif, toutes les dispositions, notamment celles des articles 4, 5, 6 et 7 du titre premier de la présente loi reçoivent leur application dans la mesure où il n'y est pas expressément dérogé par le titre II.

Art. 23. — Le premier alinéa de cet article est modifié ainsi qu'il suit :

« Si le règlement transactionnel est réclamé par une société ayant émis des obligations nominatives ou au porteur ou autres titres analogues, le jugement admettant la requête est publié conformément à l'article 442 du code de commerce. »

Art. 26. — Cet article est remplacé par les dispositions suivantes :

» Le règlement transactionnel ne peut être voté qu'à la majorité représentant plus de la moitié des obligations émises et non éteintes, déduction faite des obligations qui sont en possession de la société provenant de rachat, amortissement, non-attribution, quoique créées matériellement, ou de toutes autres opérations.

» Chaque obligataire dispose d'autant de voix qu'il possède d'obligations.

» La société n'a pas le droit de voter avec les titres restés en sa possession.

» Toute infraction à cette dernière disposition rend les administrateurs ou directeurs passibles d'un emprisonnement d'un mois au moins et de six mois au plus et d'une amende de cinquante francs (50 fr) au moins et de trois mille francs (3 000 fr) au plus.

» Les dispositions de l'article 463 du Code pénal sont applicables aux pénalités prévues par le présent article.

« Le juge délégué pourra, avant toute délibération, proroger l'assemblée et fixer une nouvelle date, éloignée de dix jours au moins, pour une convocation qui aura lieu dans les conditions de publicité fixées pour la réunion précédente. »

Art. 27. — Les dispositions de cet article sont remplacées par les dispositions suivantes :

« Si les propositions de la société débitrice, sans réunir la majorité prévue à l'article précédent, ont cependant recueilli l'adhésion de la majorité des obligataires présents ou représentés à la première réunion, la délibération sera continuée par une seconde assemblée, sur une nouvelle convocation ordonnée par le juge.

» Les votes émis à la première assemblée et non rapportés à la seconde par un vote en sens contraire resteront acquis pour le calcul de la majorité.

» Quel que soit le nombre des obligataires présents ou représentés à la deuxième assemblée, le règlement transactionnel sera déclaré acquis s'il a obtenu l'adhésion d'obligataires représentant la majorité absolue des obligations émises et non éteintes. »

Art. 2. — La présente loi sera applicable aux colonies où a été promulguée la loi sur le règlement transactionnel.

Art. 3. — *Disposition transitoire.* — La présente loi ne sera applicable en ce qui concerne les instances en cours qu'aux demandes de règlement transactionnel dont les requêtes n'auront pas été, antérieurement à sa promulgation, admises par le tribunal, conformément aux dispositions de l'article 4 de la loi du 2 juillet 1919.

Fait à Tunis, le 28 avril 1922.

Circulaire concernant le recouvrement de l'impôt sur les salaires par les patrons.

Une récente circulaire du ministre des Finances aux trésoriers payeurs généraux met au point cette question en

déclarant que « l'intention du Gouvernement n'a jamais été de faire des patrons des collecteurs d'impôts ».

Dans cette circulaire, le ministre commence par constater que, dans la très grande majorité des cas, les instructions qu'il a adressées le 3 février dernier ont été « appliquées avec tact et discernement ». En vue de prévenir le retour de difficultés analogues à celles qui se sont produites dans quelques localités, il croit devoir cependant préciser ses instructions.

L'intention du gouvernement, dit-il, n'a jamais été de faire des patrons des collecteurs d'impôts, la saisie, entre les mains d'un tiers, de deniers appartenant à un débiteur étant une mesure relevant du droit commun, et la seule portée de la loi est d'instituer, pour opérer cette saisie, une procédure particulièrement simple, rapide et économique. Il est évident que le seul mode normal d'acquittement des contributions est le versement spontané par les redevables au guichet des comptables. Les oppositions sur les traitements et salaires constituent des poursuites et doivent, à ce titre, présenter le même caractère exceptionnel.

Les comptables ne négligeront rien pour amener les contribuables à s'acquitter spontanément de leurs cotisations. Mais ils pourront donner des facilités à ceux qui, dès la réception de leurs avertissements, viennent soumettre des propositions en vue de solder l'impôt par versements échelonnés.

La circulaire dit encore :

C'est au tiers saisi qu'il appartient de déterminer la quotité légalement saisissable du traitement ou salaire, en se conformant aux dispositions de la loi du 27 juillet 1921, d'après laquelle cette quotité n'est que du dixième pour les salaires inférieurs à 6 000 fr, les salaires supérieurs à ce chiffre étant saisissables pour la totalité. Mais il n'est jamais entré dans l'intention de l'administration de vouloir user de l'intégralité des droits que la loi lui donne à cet égard. Notamment en ce qui concerne les salariés payés à la semaine, ou au mois, les percepteurs devront autoriser les employeurs à échelonner les retenues sur un certain nombre de payes.

La circulaire termine en rappelant que « s'il importe de faire preuve d'énergie à l'égard des débiteurs de mauvaise foi, il est indispensable d'user, dans toute la mesure du possible, de ménagements envers les redevables de bonne volonté que seuls, la maladie, le chômage ou les charges de famille empêcheraient de satisfaire ponctuellement à leurs obligations fiscales ».

Loi modifiant l'article 14 de la loi du 18 décembre 1915, sur les sociétés coopératives ouvrières de production et le crédit au travail en France.

Voici le texte de cette loi, en date du 6 mai 1922 et publiée au « Journal officiel » du 9 mai p. 4756 :

ARTICLE UNIQUE. — Le deuxième paragraphe de l'article 14 de la loi du 18 décembre 1915, sur les sociétés coopératives ouvrières de production et le crédit au travail en France est modifié comme suit :

« Les avances aux sociétés ouvrières de production ou de crédit ne pourront dépasser les trois quarts de l'actif net dont justifiera la société emprunteuse. Elles seront impu-
tées, etc... »

Fait à bord de l'« Edgar-Quinet », le 6 mai 1922.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 25.

24 JUIN 1922.

Chronique. — Sur la striction électromagnétique. — Bibliographies : La théorie et la pratique des radiocommunications, par Léon BOUTHILLON ; Cours d'électricité générale de l'Ecole navale, par E. HAUDIX, p. 913-914.

Section scientifique et technique. — Note sur la détermination par un abaque à alignement des conducteurs nécessaires à l'alimentation des moteurs asynchrones triphasés, par R. BOUCHILLOUX, p. 915. — Revues, analyses et informations : Etude expérimentale sur les pertes d'énergie dans quelques diélectriques industriels, p. 917.

Section industrielle. — Sur l'équilibrage des pièces tournantes, par C. FÉRU et J. LABOURET, p. 919. — Remarques sur la normalisation des tensions électriques des réseaux de transmission et de distribution d'énergie par courant alternatif triphasé, par Ch. LAVANCHY, p. 926. — La Semaine d'Electromotoculture d'Ondes, par Ach. DELAMARRE, p. 929. — Revues, analyses et informations : Pratique de la pyrométrie, p. 933.

Section économique et financière. — Importations et exportations françaises de matériel électrique, produits électrometallurgiques et électrochimiques, par Désiré PECTOR, p. 937. — Assemblées générales : Energie électrique de la Basse-Loire, p. 940 ; Les exploitations électriques, p. 941 ; Sociedad hidroelectrica Española, p. 941.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Circulation concernant les nouveaux tarifs des indemnités à payer par les concessionnaires de distribution d'énergie électrique aux compagnies de chemins de fer pour traversée ou emprunt des voies ferrées par les canalisations électriques, p. 943 ; Jugement du Tribunal civil de Rouen concernant la taxe sur les importations, p. 943 ; Jugement du Tribunal civil de Douai relatif au calcul des pensions aux victimes d'accidents du travail recevant des allocations familiales, p. 944 ; Sur le recouvrement par l'intermédiaire des patrons de l'impôt sur les traitements des employés, p. 944 ; Sur l'établissement de la taxe sur les automobiles à usage commercial, p. 944.

Sur la striction électromagnétique. — Nous revenons à ce sujet la lettre suivante de M. F. Guéry.

M. Bary a décrit en 1901 un phénomène, auquel il a donné le nom de « Striction électromagnétique », et qui s'applique aux conducteurs fluides. Ceux-ci tendent à se contracter transversalement sous l'influence du passage du courant qui les traverse. Cette striction peut même provoquer la rupture du conducteur. Le même phénomène a été décrit plus tard par Carl Hering ⁽¹⁾. M. Bary a montré ⁽²⁾ que les lois usuelles de l'électrodynamique expliquent cette action, qui serait due à l'attraction des filets parallèles de courant. Cette attraction serait insuffisante pour déformer un conducteur solide. Il n'en est pas de même pour les conducteurs fluides, si la densité de courant est grande.

Il n'est pas sans intérêt de chercher quel est le mécanisme de ce phénomène, quand on suppose le courant produit par une circulation d'électrons. Nous avons montré ⁽³⁾ que, dans cette hypothèse, il était nécessaire d'admettre, suivant la théorie de Gauss, une double circulation en sens inverse de charges égales et de signes contraires et que, la densité de courant était proportionnelle à la vitesse relative de ces charges. Dans les idées modernes sur la nature des courants, les charges négatives seraient des électrons, dont le mouve-

ment d'agitation serait orienté par le champ électrique créé dans le conducteur. Les charges positives resteraient attachées à la matière du conducteur.

Dans ces conditions, le conducteur étant considéré comme immobile, la théorie de Gauss exige que, le champ électrique des charges positives restant inaltéré, l'action des charges négatives ou électrons sur l'unité de charge immobile soit modifiée d'une manière variable suivant l'angle α de la direction envisagée avec celle du mouvement relatif à vitesse v des deux espèces de charges.

Le champ électrique H d'un électron de charge e à une distance r aurait ainsi pour expression

$$(1) \quad H = -\frac{e}{r^2} \left[1 + \frac{v^2}{2c^2} (3 \sin^2 \alpha - 1) \right].$$

La modification ci-dessus du champ électrique explique entièrement tous les effets attribués habituellement au champ magnétique, qui, dans cette théorie, n'existe plus.

On voit, d'après la formule (1), que l'action des électrons sur les charges positives est accru par le mouvement dans les directions voisines de la normale à celui-ci et réduit, au contraire, dans les directions voisines de celles du mouvement. Les actions respectives des charges positives ou négatives entre elles, restent inchangées. L'effet de *striction électromagnétique* s'explique ainsi très aisément, le passage du courant accroissant l'attraction des charges positives et négatives dans le sens transversal et le réduisant dans le sens longitudinal, sans modifier les autres actions.

⁽¹⁾ *Revue générale de l'Electricité*, 15 avril 1922, t. XI, p. 532-534.

⁽²⁾ *L'Eclairage électrique*, 13 avril 1907, t. LI, p. 37-49.

⁽³⁾ *Revue générale de l'Electricité*, 11 et 18 février 1922, t. XI, p. 179-190 et 219-232.

Dans l'ordre d'idées que nous venons d'exposer, un rayon cathodique, ne transportant qu'une charge négative, ne constitue pas par lui-même un courant. C'est le mouvement relatif des électrons emportés par les rayons cathodiques et des charges positives égales existant quelque part dans l'ampoule, soit sur l'anode, soit dans les rayons α , qui définit le courant, tel qu'on le retrouverait dans les rhéophores desservant l'appareil. Il n'est donc pas surprenant que deux rayons cathodiques se repoussent, comme simple porteurs de charges de même nom.

La théorie du courant que nous venons de rappeler et qui est, comme nous l'avons montré (*loc. cit.* et *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 2 mai 1921, t. CLXXII, p. 1094-1097), d'accord avec les théories de Maxwell, de Lorentz et de la relativité restreinte, fournit donc une interprétation particulièrement simple et suggestive, des phénomènes produits par le passage du courant dans les conducteurs fluides.

Bibliographie : La théorie et la pratique des radiocommunications. Tome II : *La propagation des ondes électromagnétiques à la surface de la terre*, par Léon Bouthillon, ingénieur en chef des Postes et Télégraphes, inspecteur général des exploitations de la Compagnie générale de Télégraphie sans fil, des compagnies filiales et associées, répétiteur à l'École polytechnique (1). — Ce volume fait suite à l'*Introduction à l'étude des radiocommunications* analysé précédemment dans cette Revue (2); il est le second d'une série de huit volumes du même auteur, sur la *Théorie et la pratique des radiocommunications*, dans la Bibliothèque des radiocommunications.

Dans son *Introduction à l'étude des radiocommunications*, M. L. Bouthillon avait abouti à une formule faisant connaître le courant dans l'antenne de réception en fonction des données des antennes de transmission et de réception, de la distance des antennes et de la longueur d'onde utilisée. Cette formule ne pouvait être que provisoire, car elle supposait la terre plane et parfaitement conductrice, et l'atmosphère parfaitement diélectrique. Dans le volume que nous analysons, l'auteur s'efforce de substituer à ces hypothèses initiales des hypothèses plus voisines de la réalité. La tâche n'est pas aisée : l'état physique de la croûte terrestre, l'état moyen et les oscillations périodiques de son atmosphère, les influences, sur la déformation et sur la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques, des discontinuités géologiques et atmosphériques si diverses dans leur nature et dans leur étendue, tout cela n'est qu'imparfaitement connu.

M. Bouthillon procède avec une méthode impeccable. Il étudie d'abord l'ensemble des constatations expérimentales, faites jusqu'à ce jour, sur la propagation des ondes (première partie, 5 chapitres). Puis, dans une *tentative d'explications* (deuxième partie), il envisage successivement, au point de vue théorique, les hypothèses : d'une terre conductrice (chapitre VI), d'une terre sphérique (chapitre VII), d'une atmosphère imparfaitement diélectrique. Dans les *Conclusions* de son étude (chapitre IX), l'auteur donne les formules de propagation des ondes; il fait l'application de ces formules aux radiocommunications à courte distance (choix de la longueur d'onde optimum pour chaque type d'installation), aux radiocommunications à grande distance (accroissement de la longueur d'onde optimum avec la distance); M. Bouthillon compare ensuite les résultats de la théorie et

les résultats de la pratique; il montre comment peuvent se déterminer les caractéristiques des stations d'émission et de réception; il donne enfin une méthode graphique de résolution des problèmes que la pratique courante pose chaque jour aux ingénieurs.

D'un bout à l'autre de l'ouvrage, la notation est uniforme; les formules s'enchaînent et se complètent malgré la diversité de leurs origines. Les notes bibliographiques, rejetées à la fin du volume, sont nombreuses (135) et cependant soigneusement triées, judicieusement choisies parmi les innombrables mémoires accumulés en ces vingt dernières années sur la télégraphie hertzienne. D'ailleurs, l'auteur n'hésite pas à transcrire ou à traduire les passages essentiels des mémoires originaux; c'est là un des attraits, une des heureuses originalités de l'ouvrage.

Les lecteurs de la « R. G. E. » connaissent le soin que M. Bouthillon donne à ses rédactions, en vue de leur précision et de leur clarté, et sa compétence toute spéciale en matière de radiocommunications.

Nous croyons devoir signaler aux météorologistes français, susceptibles d'aborder l'étude de la physique du globe, le chapitre VIII de l'ouvrage de M. Bouthillon. Ils trouveront là non pas seulement un résumé ou une analyse des principaux mémoires relatifs à l'électricité atmosphérique, aux aurores polaires, au magnétisme terrestre, mais une discussion des plus récents travaux sur ces questions auxquelles le physicien Mascart portait tant d'intérêt et que la météorologie officielle française a complètement délaissées depuis vingt ans (3). — J. R.

Bibliographie : Cours d'électricité générale de l'Ecole navale, par E. HAUDICÉ, agrégé des Sciences physiques, professeur à l'Ecole navale (2). — Ce cours doit réunir, en trois volumes, les leçons professées par M. Haudicé à l'Ecole navale. Il forme un ensemble méthodique et coordonné, envisageant surtout les applications pratiques et industrielles. Tout en laissant de côté les longs calculs sans application directe, l'auteur n'a négligé aucun de ceux qui apportent quelque explication aux phénomènes étudiés, fournissant ainsi une base solide pour toute étude ultérieure plus développée de l'Electricité industrielle.

Le premier volume traite uniquement des courants continus, plus particulièrement des actions du courant, loi d'Ohm, piles et accumulateurs; champ magnétique, galvanomètre et appareils de mesure industriels; champ électromagnétique. Il sera complété par le deuxième volume contenant l'induction, les machines génératrices et les moteurs.

L'électrostatique, généralement placée au commencement de tous les cours, sera renvoyée au début du troisième volume. L'auteur estime, en effet, que la notion de capacité a sa place après les courants continus, en vue des circuits alternatifs; d'autre part, la notion de charges en mouvements conduit à l'extension de la notion de courant et permet de passer du cas des conducteurs ordinaires à celui des lampes à vide dont l'importance est capitale en télégraphie sans fil. Ce chapitre fournira donc un lien entre l'étude du courant continu et celle des courants alternatifs et des ondes électriques devant constituer la matière du troisième volume. — B. E.

(1) Un volume 25 cm \times 16 cm, de xv-340 pages, 133 figures, édité par la librairie Delagrave, rue Soufflot, 15, Paris. Prix : broché, 28 fr., majoration comprise.

(2) R. G. E. du 10 janvier 1920, t. VII, p. 44.

(1) Au sujet de l'ouvrage que nous analysons, voir : Sur l'application de la formule d'Austin-Cohen à la résolution de quelques problèmes importants de la technique des radiocommunications; R. G. E., 23 mars 1918, t. III, p. 419-429. Contribution à l'étude des radiocommunications sous-marines. R. G. E., 23 mai 1920, t. VII, p. 696-700.

(2) Un volume broché, format 25 cm \times 16 cm, 245 pages, 190 fig., édité par A. Chalmel, 17, rue Jacob, Paris, 6^e, Prix : 20 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Note sur la détermination par un abaque à alignement des conducteurs nécessaires à l'alimentation des moteurs asynchrones triphasés

L'auteur donne dans cette note, le principe de construction et les applications d'un abaque à points alignés pour le calcul des conducteurs d'une ligne triphasée. Cet abaque est la traduction graphique de la relation approchée entre le rapport des tensions aux deux extrémités des conducteurs (tensions qui sont supposées faire un angle petit entre elles, pour simplifier), la résistance, le diamètre et l'écartement des conducteurs. Il permet de résoudre rapidement les deux problèmes suivants : étant données la chute de tension, la puissance à transmettre et la distance, déterminer les grandeurs caractéristiques du conducteur ; ou connaissant les grandeurs caractérisant le conducteur, la puissance et la distance, déterminer la chute de tension.

I. Position du problème. — Les conducteurs nécessaires à l'alimentation des moteurs asynchrones triphasés se déterminent généralement par la condition que la chute de tension dans ces conducteurs ne dépasse pas n centièmes de la tension au départ.

Nous adoptons les notations suivantes :

V' et V , tensions simples à l'arrivée et au départ, en volts ;

U' et U , tensions composées à l'arrivée et au départ, en volts ;

W , puissance nécessaire à l'alimentation du moteur, en kilowatts ;

I , intensité du courant dans un conducteur, en ampères ;

$\cos \varphi$, facteur de puissance du moteur ;

R et $L\omega$, résistance et réactance d'un conducteur, en ohms ;

$Z = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$, impédance d'un conducteur, en ohms.

Traçons le diagramme des tensions (fig. 1). En dési-

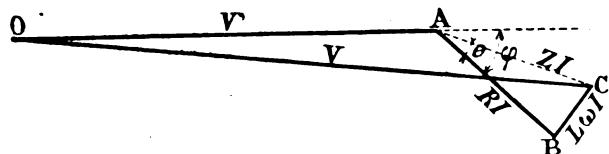


Fig. 1.

gnant la chute de tension simple par u et en remarquant que l'angle de V et V' est toujours petit, nous pouvons écrire ⁽¹⁾

$$\begin{aligned} u &= V - V', \\ &= ZI \cos(\varphi - \theta), \\ &= I [Z \cos \theta \cos \varphi (1 + \operatorname{tg} \theta \operatorname{tg} \varphi)], \end{aligned}$$

formule valable quel que soit l'angle θ .

(1) LÉAUTÉ. *R. G. E.*, 10 août 1918, t. IV, p. 179.

D'autre part,

$$\begin{aligned} I &= \frac{1000 W}{\sqrt{3} U' \cos \varphi}, \\ &= \frac{W}{\sqrt{3} U (100 - n) \cos \varphi} \cdot 10^5, \\ u &= \frac{n}{100} \frac{U}{\sqrt{3}}. \end{aligned}$$

D'où nous déduisons, après transformations,

$$\frac{n(100 - n) U^2}{W} 10^{-7} = R + L\omega \operatorname{tg} \varphi.$$

Si ρ et $\lambda\omega$ sont la résistance et la réactance linéiques en ohms par kilomètre et l , la longueur de la ligne en mètres, nous avons.

$$R = \rho l \cdot 10^{-3},$$

$$L\omega = \lambda\omega l \cdot 10^{-3}.$$

Pour un courant de fréquence 50 p. s, $\lambda\omega$ est donné par la formule suivante de M. Blondel

$$\lambda\omega = \left(0,5 + 4,6 \log \frac{D}{r}\right) 314 \cdot 10^{-4} \text{ ohms},$$

D étant la distance des conducteurs que nous supposons d'abord placés symétriquement et r , leur rayon ⁽¹⁾.

(1) On sait d'ailleurs qu'on peut calculer $\lambda\omega$ très rapidement par des abaques. Voir à ce sujet : Nomogrammes et abaques auxiliaires nouveaux pour le calcul électrique des lignes de transmission d'énergie électrique à haute tension : LAVANCHY. *R. G. E.*, 9 juillet 1921, t. X, p. 47, et la notice très complète en renvoi de la page 53.

Nous obtenons, en définitive, la relation générale suivante

$$n(100 - n) U^2 = 10^4 W l \left[\rho + \left(0,5 + 4,6 \log \frac{D}{r} \right) 314 \cdot 10^{-4} \operatorname{tg} \varphi \right], \quad (1)$$

que nous proposons de traduire par un abaque.

II. Construction de l'abaque. — Posons pour simplifier l'écriture

$$n(100 - n) = \alpha, \\ \rho + \left(0,5 + 4,6 \log \frac{D}{r} \right) 314 \cdot 10^{-4} \operatorname{tg} \varphi = \varepsilon.$$

Nous allons admettre provisoirement que la distance entre conducteurs et que le déphasage à l'arrivée sont constants. Dans ces conditions ε sera fonction seulement de ρ et de r et aura par suite une valeur bien déterminée pour chaque conducteur.

La relation (1) devient après anamorphose logarithmique

$$\log \alpha + 2 \log U = 4 + \log W + \log l + \log \varepsilon. \quad (2)$$

L'équation (2) est représentable par un nomogramme à cinq échelles parallèles et à deux charnières (¹) dont les échelles, graduées en logarithmes, assurent une erreur relative de lecture constante sur toute leur longueur.

La construction du nomogramme n'offre aucune difficulté particulière. Nous avons choisi le type indiqué

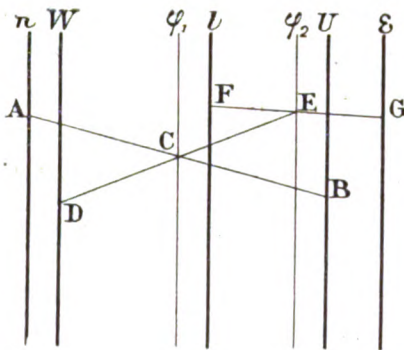


Fig. 2.

par la figure 2 pour lequel les modules des différentes échelles sont

| | | |
|-----------|---------------|----------------|
| pour | n | $\mu_1 = 10,$ |
| | U | $\mu_2 = 10 ;$ |
| d'où pour | φ_1 | $\mu_1' = 5,$ |
| | W | $\mu_3 = 10,$ |
| | φ_2 | $\mu_2' = 10,$ |
| | l | $\mu_4 = 20,$ |
| | ε | $\mu_5 = 20.$ |

(¹) D'OCAGNE. *Calcul graphique et nomographique*, p. 322.

Nous avons pris comme unité de longueur 1 cm. La première échelle est graduée directement en valeurs de n au lieu de α et, sur la dernière échelle, au lieu des valeurs de ε , nous avons marqué les conducteurs correspondants.

Pratiquement, on a à résoudre l'un des deux problèmes suivants :

- 1) connaissant n , U , W et l , déterminer le diamètre (ou la section) du conducteur.
- 2) connaissant le conducteur, l , W et U , déterminer n .

Pour résoudre le premier problème :

On aligne n et U , d'où φ_1 (charnière φ_1) ;

On aligne φ_1 et W , d'où φ_2 (charnière φ_2) ;

On aligne φ_2 et l , d'où le conducteur.

Pour résoudre le second problème on procède exactement en sens inverse.

III. Généralisation de l'abaque pour plusieurs valeurs de $\cos \varphi$ et plusieurs dispositions des conducteurs. — Nous pouvons maintenant compléter l'abaque pour plusieurs valeurs du déphasage à l'arrivée, la disposition des conducteurs restant toujours la même.

Il suffit pour cela de calculer les valeurs de ε pour chaque $\cos \varphi$ que l'on se donne, et de porter les logarithmes de ces valeurs sur un support spécial, ces différents supports étant parallèles et équidistants.

Les divisions des échelles de ces supports, correspondant à un même conducteur, sont réunies par une même ligne, en sorte que le support de ε est finalement un réseau valable pour une valeur déterminée de D .

Si nous voulons maintenant que l'abaque soit valable pour plusieurs autres valeurs de D , les conducteurs restant toujours placés symétriquement, il suffira de tracer sur les supports de ε un faisceau nouveau de lignes, pour chaque valeur nouvelle de D .

Il est nécessaire, pour la clarté des lectures, de prendre un abaque suffisamment grand — quatre fois plus grand, par exemple, que l'abaque ci-inclus — et de tracer ces nouveaux faisceaux de lignes, chacun avec une couleur déterminée.

Les dimensions forcément réduites de l'abaque que



Fig. 3.

nous donnons ici ne permettent de tracer qu'un seul de ces faisceaux.

Il nous reste à établir les conditions de validité de l'abaque pour les lignes dont les conducteurs sont situés dans le même plan, et pour les lignes dyssymétriques.

Pour les premières, et dans le cas où le conducteur

médian est également distant des conducteurs extrêmes l'abaque établi pour des lignes symétriques dont l'écar-

lignes dont les deux plus grands intervalles entre conducteurs a et b (fig. 3) sont tels que ⁽¹⁾

$$\sqrt{ab} = D.$$

L'abaque de la figure 4 a été construit pour les lignes symétriques dont les conducteurs sont distants de $D = 45$ cm.

Cette distance n'étant généralement pas dépassée dans les lignes basse tension, établies sur poteaux bois ou sur potelets, l'abaque, tel que nous le donnons, suffit à la grande majorité des cas de la pratique courante.

IV. Application. — Soit à déterminer les conducteurs nécessaires pour alimenter à 150 m un moteur absorbant 12 kw sous $\cos \varphi = 0,70$, la tension au départ étant 220 v et la chute en centièmes de cette tension devant être 5 pour 100.

Nous supposons que les conducteurs sont disposés symétriquement et distants de 45 cm.

On aligne A et B, ce qui donne le point C ;

On aligne C et D, ce qui donne le point E ;

On aligne E et F et on obtient G.

Le point G indique que les conducteurs à employer ont un diamètre compris entre 45 et 50 dixièmes de millimètre.

Si l'on tient absolument à ne pas dépasser 5 pour 100 de chute de tension, on adoptera donc le fil de 50 dixièmes de millimètre.

Si, au contraire, on veut s'en tenir au fil de 45 dixièmes de millimètre on peut calculer la valeur exacte de n en reprenant les alignements dans l'ordre inverse.

On trouverait pour le cas présent :

$$n = 5,50 \text{ pour } 100 \text{ environ.}$$

R. BOUCHILLOUX,
Ingénieur I. E. T.,
Ingénieur à la Société
des Forces motrices de la Loue,
à Pontarlier.

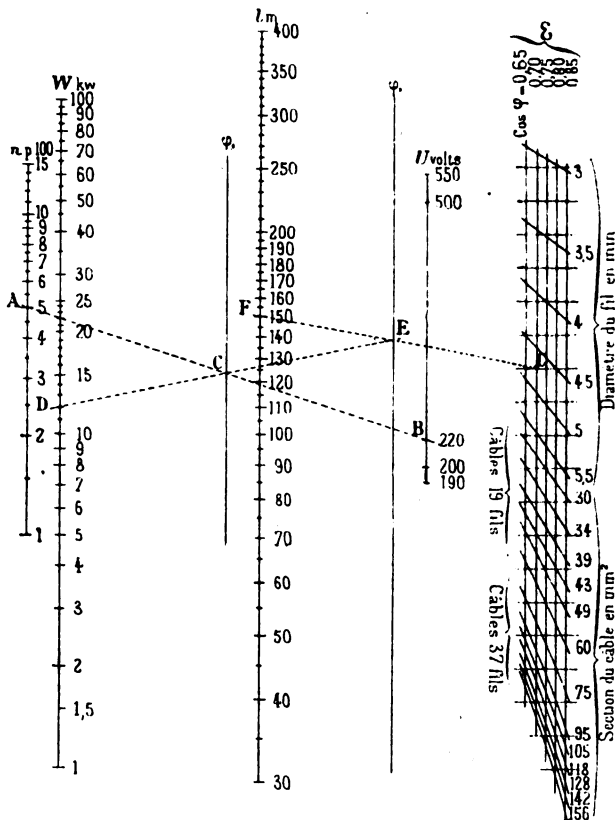


Fig. 4

tement des conducteurs est D , sera valable pour une distance entre conducteurs de

$$a = \frac{D}{\sqrt{2}}.$$

Pour les secondes, l'abaque sera valable pour les

Revue, analyses et informations

Étude expérimentale sur les pertes d'énergie dans quelques diélectriques industriels ⁽¹⁾.

Nous reproduisons ci-après une note de M. Augustin FRIGOU, présentée à la séance du 22 mai 1922 de l'Académie des Sciences.

Malgré les nombreux travaux qui ont été faits sur les pertes d'énergie dans les diélectriques, on ne sait rien de précis sur la nature du phénomène et l'on ne sait pas grand-chose sur ses particularités. Les quelques lois qualitatives que l'on a pu émettre ne s'appliquent qu'à des cas particu-

liers et les lois quantitatives sont encore à établir d'une façon satisfaisante.

La question est donc loin d'être épuisée et ce n'est qu'en accumulant les constatations expérimentales que l'on parviendra à serrer la vérité de plus près et à fournir aux théoriciens les matériaux nécessaires à l'établissement de lois plus précises. En attendant, les résultats ainsi obtenus peuvent être utilisés pour les besoins de l'électrotechnique, dans les limites imposées par l'étendue des travaux d'où ils sont tirés.

⁽¹⁾ Induction et capacité de lignes ; J. FISCHER-HINNEN. *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, décembre 1917, t. VIII, p. 333. Analysé dans *R.G.E.*, 16 et 23 août 1919, t. VI, p. 203-213 et 233-244.

⁽¹⁾ *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 22 mai 1922, t. CLXIV, p. 1338-1340.

Nous nous sommes donné pour objet l'étude des pertes d'énergie dans les diélectriques, considérées dans leur ensemble, par une méthode de mesure aussi simple et aussi directe que possible, à des gradients de potentiel élevés et pour des variations importantes de tension sinusoïdale, de température, de fréquence et d'épaisseur.

A cet effet, nous avons utilisé un électrodynamomètre très sensible, à miroir, employé directement, sans circuit de compensation, sans transformateur de tension, avec simple résistance ohmique dans le circuit tension. L'appareil que nous avons employé a une sensibilité d'environ $7 \cdot 10^9$ R watts par millimètre (R résistance du circuit en dérivation). Nous avons ainsi obtenu de très bons résultats. La méthode ne présente pas d'inconvénients insurmontables, mais elle exige une vérification expérimentale très soignée des conditions de fonctionnement du montage.

Nous nous sommes servi, pour ces vérifications, de condensateurs à air formés de plateaux semblables à ceux des électromètres Abraham-Villard de grand modèle. On peut admettre que l'on dispose ainsi d'un condensateur presque parfait et que l'angle de déphasage qu'ils produisent est pratiquement de 90° . En reliant des boîtes de résistance connue en série, on obtient le déphasage que l'on veut.

L'influence de l'induction mutuelle entre les différentes parties du montage et celle de la capacité du circuit en dérivation par rapport au sol, sont considérables. Après quelques tâtonnements, nous avons trouvé la disposition la plus appropriée à donner aux circuits. Nous avons dû, par exemple, suspendre les boîtes de résistance du circuit tension dans une pièce voisine de celle où nous expérimentions et à une hauteur d'environ 3 m du sol.

Jusqu'à présent nous avons opéré sur des éprouvettes de papier imprégné de vaseline et de résine, tel qu'il est employé pour l'isolement des câbles électriques pour basse tension. Ces éprouvettes avaient une forme cylindrique pour diminuer le plus possible l'influence des effluves. Leur longueur moyenne était de 40 cm et leur diamètre de 20 mm.

Voici, en résumé, les principaux résultats que nous avons obtenus jusqu'à présent :

1° Dans le cas d'éprouvettes cylindriques comme les nôtres, les pertes par effluves introduisent une erreur qui ne doit pas dépasser 3 à 4 pour 100, pour des tensions de l'ordre de 20 000 v.

2° Les pertes ne sont pas rigoureusement constantes par rapport au temps. Il n'est pas rare de trouver des écarts de 10 pour 100 entre deux lectures faites dans des conditions identiques.

3° Les pertes par effet Joule sont négligeables devant les pertes cycliques, à toutes températures et à toutes tensions (de 0° à 125° et de 5 000 à 25 000 v). Ceci découle de mesures de résistances que nous avons faites en haute tension, au moyen d'un redresseur thermoionique.

4° En fonction de la température, les pertes peuvent s'exprimer par une fonction de la forme

$$P = m T^n$$

pour certaines limites de température. Dans notre cas on a : de 0° à 25° C.,

$$P = a T^{-0.3};$$

de 70° à 125° C.,

$$P = b T^{3.6}.$$

La courbe présente un minimum vers 40° C.

5° En fonction de la tension, on trouve de même

$$P = m V^n.$$

Dans notre cas, et pour des gradients de potentiel supérieurs à 3 500 v : mm et à la température de 56° , on obtient

$$P = c V^{2.5}.$$

L'exposant varie de 2,7 à 1,9 lorsque la température passe de 15° à 120° C.

6° Pour fixer les idées, nous pouvons dire que nous avons obtenu, à 40° C et pour un gradient de 2 500 v : mm, une perte de 0,2 watt par mètre de longueur d'une éprouvette de 20 mm de diamètre et de 2 mm d'épaisseur.

7° La capacité augmente légèrement avec la température. Elle varie légèrement avec la tension, mais pas suivant une loi simple. (Nous avons calculé la capacité par la formule $\frac{1}{2\pi fV}$. Le courant était mesuré au moyen d'une résistance et d'un électromètre Moulin.)

8° En fonction de la température, le facteur de puissance varie de la même façon que les pertes. On obtient, pour un gradient de 25 000 v : mm. de 0° à 25° ,

$$\cos \varphi = p T^{-0.3};$$

de 70° à 120° C.,

$$\cos \varphi = q T^{3.4}.$$

9° Pour des températures inférieures à 100° C, le facteur de puissance augmente proportionnellement à la tension. Pour des températures plus élevées, il diminue, le plus souvent, par rapport à la tension; quelquefois il augmente ou il présente un minimum.

10° Lorsque l'épaisseur diminue, les pertes augmentent si la tension reste constante; elles diminuent si le gradient reste constant. Il existe donc une épaisseur optimum pour laquelle les pertes sont minima pour toutes les tensions.

11° Lorsque l'on augmente le rayon de courbure de l'éprouvette (le diamètre dans notre cas), les pertes diminuent tout d'abord, puis elles augmentent pour atteindre un maximum lorsque le rayon est suffisamment grand.

12° Les pertes augmentent en proportion directe de la fréquence ou légèrement moins vite.

SECTION INDUSTRIELLE

Sur l'équilibrage des pièces tournantes

Bien que l'équilibrage ait déjà fait l'objet d'un certain nombre d'études et de publications, il est cependant pratiqué d'une façon empirique dans nombre d'ateliers. Cet article a simplement pour objet de montrer comment on peut parvenir à obtenir cet équilibrage par des moyens simples, mais rationnels. On y trouvera plus particulièrement décrit un procédé permettant de déterminer la valeur de l'angle φ qui se produit, pendant la rotation, entre la position réelle du balourd et celle du trait obtenu par l'opérateur en approchant un crayon de la pièce tournante.

La méthode généralement utilisée pour équilibrer les pièces tournantes consiste à approcher un crayon de l'arbre de la pièce en rotation, ce qui laisse sur celui-ci une trace indiquant la position du balourd, ou plus exactement du léger excentrement de l'arbre résultant de la force centrifuge agissant sur le balourd.

Malheureusement, la trace laissée par le crayon ne coïncide pas avec la position du balourd; elle est toujours décalée sur celle-ci d'un certain angle φ , variable entre les limites 0 et π avec la vitesse de rotation.

Pour éliminer l'erreur due à cet angle inconnu φ , on fait tourner la pièce à la même vitesse dans un sens, puis dans l'autre; d'où deux traces de crayon; le balourd se trouve alors au milieu des deux traces et en tête de celles-ci; par suite, le contrepoids d'équilibrage doit être placé au point diamétralement opposé, c'est-à-dire entre les traces et en queue de celles-ci. Cette méthode est connue dans les ateliers sous le nom d'équilibrage « entre queues ».

Mais elle n'est guère applicable que lorsqu'on dis-

pose un sens de rotation; tel est le cas, par exemple, d'un turbo-alternateur.

Nous allons indiquer une méthode permettant de déterminer la valeur de l'angle φ , même dans ce dernier cas; la méthode permet, en outre, d'obtenir la valeur du contrepoids à placer sur la pièce tournante pour l'équilibrer exactement.

I. Equilibrage sur un palier. — EQUATIONS D'EQUILIBRE. — La figure 1 indique clairement le cas théorique envisagé. Sous l'action du balourd m , l'arbre fléchit et prend une flèche X ; le trait de crayon de l'équilibreur indique la position de cette flèche et non celle du balourd.

La figure 2 représente une coupe du palier; l'arbre

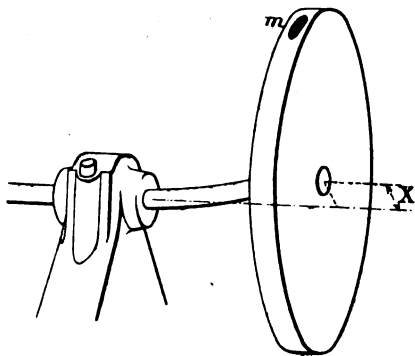


Fig. 1.

pose d'un appareillage spécial, notamment lorsque l'on peut entraîner la pièce à équilibrer au moyen d'un moteur capable de tourner dans les deux sens.

Ceci est rarement le cas, et lorsque l'on doit opérer sur place, on ne dispose, en général, que d'un seul

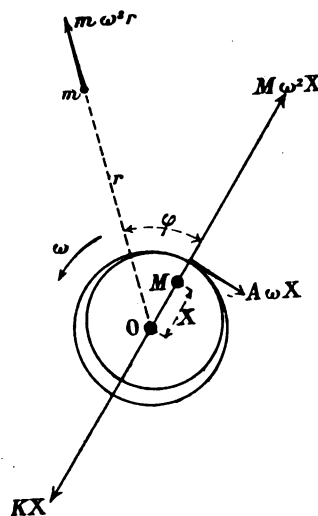


Fig. 2.

possède nécessairement un peu de jeu dans le coussinet, et ne touche celui-ci qu'en un point qui correspond à la position de la flèche de l'arbre. Voici l'énumération des éléments qui entrent en jeu :

O, centre de rotation du système;

ω , vitesse angulaire de rotation;

M , masse de la pièce tournante réduite au centre de gravité;

X , flèche de l'arbre ou excentrement, distance du centre de gravité au centre de rotation;

$M\omega^2 X$, force centrifuge s'exerçant sur la masse du système;

KX , réaction élastique de l'arbre, proportionnelle à la flèche X ;

$A\omega X$, frottement de l'arbre sur le coussinet, proportionnel à la vitesse ω (cas approximatif pour des paliers huilés), et à la pression KX de l'arbre sur le coussinet;

m , masse du balourd;

r , distance du balourd au centre de rotation;

mr , moment du balourd;

$m\omega^2 r$, force centrifuge s'exerçant sur le balourd;

φ , angle de décalage du balourd sur la direction de la flèche X , c'est-à-dire sur la trace de crayon.

La figure 3 donne le diagramme des forces ⁽¹⁾. Lorsque l'équilibre est réalisé, la somme des projec-

d'où nous tirons la valeur de la flèche X

$$X = \frac{m\omega^2 r}{\sqrt{A^2\omega^2 + (K - M\omega^2)^2}};$$

d'autre part

$$\sin \varphi = \frac{bc}{ac} = \frac{A\omega}{\sqrt{A^2\omega^2 + (K - M\omega^2)^2}}.$$

RÉGIME CRITIQUE. — La masse M du système tend à être ramenée à sa position initiale par une force KX proportionnelle à l'élongation X ; elle peut donc vibrer et la pulsation de sa vibration propre est, en négligeant l'amortissement,

$$\omega_c = \sqrt{\frac{K}{M}}.$$

Nous appellerons régime critique celui qui est réalisé lorsque la vitesse de rotation ω du système est égale à la pulsation ω_c de la vibration propre.

Dans ces conditions, X et φ deviennent X_c et φ_c donnés par

$$X_c = \frac{m\omega_c r}{A},$$

et
$$\sin \varphi_c = 1 \quad \text{ou} \quad \varphi_c = \frac{\pi}{2}.$$

ALLURE GÉNÉRALE DES COURBES. — La courbe de X en fonction de ω présente un maximum pour

$$\Omega = \frac{K}{\sqrt{M - \frac{A^2}{2K}}},$$

valeur que l'on peut pratiquement confondre avec

$$\omega_c = \sqrt{\frac{K}{M}},$$

car le coefficient de frottement A est toujours très faible et est négligeable devant K et M . Puisque Ω est très peu différent de ω_c , et que la valeur du maximum est elle-même très peu différente de X_c , nous pouvons pratiquement confondre ces deux valeurs.

Nous admettons donc que le maximum de la courbe a pour valeur X_c et qu'il se produit pour $\omega = \omega_c$.

La courbe de $\sin \varphi$ en fonction de ω présente un maximum égal à 1 pour $\omega = \omega_c$.

La courbe de l'angle φ en fonction de ω , laquelle s'obtient plus aisément en calculant $\tan \varphi$, montre que, lorsque ω varie de zéro à ω_c , φ est inférieur à $\pi/2$, que pour $\omega = \omega_c$ on a exactement $\varphi = \pi/2$, et que, enfin, lorsque ω croît indéfiniment à partir de ω_c , φ varie de $\pi/2$ à π . La figure 4 représente ces 3 courbes et la figure 5 montre les valeurs de φ correspondant aux trois cas $\omega < \omega_c$, $\omega = \omega_c$, $\omega > \omega_c$.

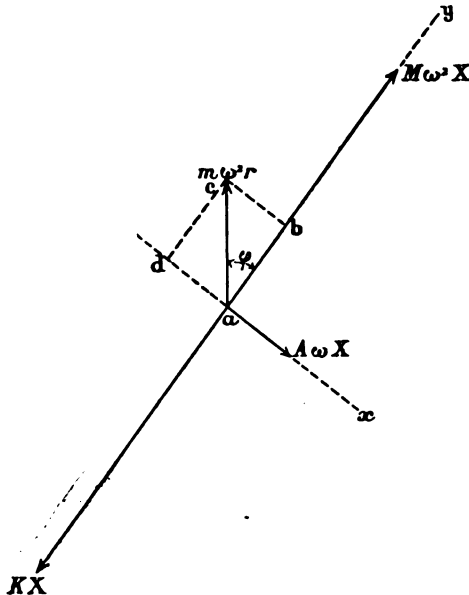


Fig. 3.

tions suivant ax et ay doit être nulle; nous devons donc avoir

$$ab = (K - M\omega^2) X,$$

$$bc = ad = A\omega X,$$

$$ac = \sqrt{ab^2 + bc^2} = X \sqrt{A^2\omega^2 + (K - M\omega^2)^2} = m\omega^2 r;$$

⁽¹⁾ Ce diagramme n'est pas autre chose que la traduction vectorielle de l'équation classique

$$M \frac{d^2 r}{dt^2} + A \frac{dr}{dt} + Kx = m\omega^2 r \cos \omega t.$$

THÉORÈME FONDAMENTAL. — Reprenons les formules générales ci-dessus et formons le rapport $\frac{X}{X_c}$; on a

$$\frac{X}{X_c} = \frac{m\omega^2 r}{\sqrt{A^2\omega^2 + (K - M\omega^2)^2}} \times \frac{A}{m\omega_c r} = \frac{\omega}{\omega_c} \sin \varphi,$$

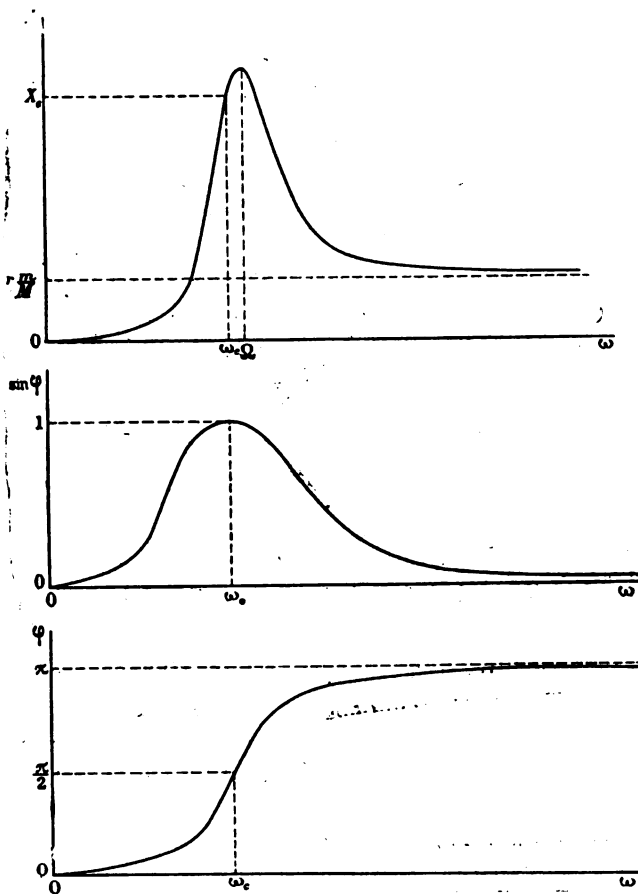


Fig. 4.

d'où l'on tire

$$\sin \varphi = \frac{X}{X_c} \times \frac{\omega_c}{\omega};$$

l'expression de $\sin \varphi$ ne contient que des rapports de

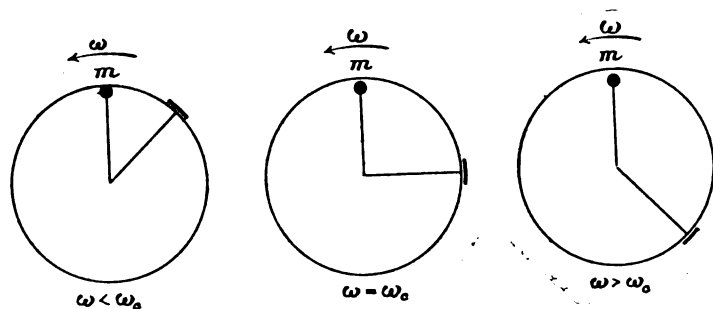


Fig. 5.

grandeurs mesurables; elle permet donc de déterminer φ .

MODE OPÉRATOIRE. — Pour déterminer φ , il suffit de mesurer des grandeurs proportionnelles à celles qui entrent dans l'expression de $\sin \varphi$.

C'est ainsi que nous pouvons mesurer les ω en tours par minute N (au lieu de radians par seconde); un tachymètre ordinaire suffit.

Pour obtenir une quantité proportionnelle à X , c'est-à-dire à l'amplitude de la vibration, nous disposons sur un point d'appui stable, indépendant de la machine, un comparateur dont la pointe repose sur le palier, comme l'indique la figure 6, car la vibration se

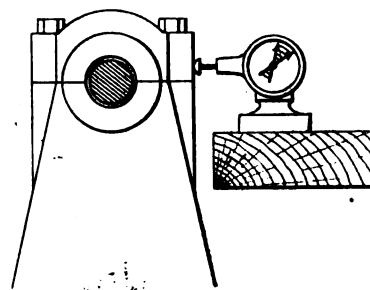


Fig. 6.

transmet de l'arbre au palier. Lorsque la machine vibre, l'aiguille du comparateur oscille rapidement, donnant sur le cadran l'apparence d'un secteur grisaille, à bords nets, dont on évalue la grandeur angulaire θ au moyen de la graduation, d'ailleurs arbitraire, du quadrant; et l'on peut admettre que θ est proportionnel à X .

Remarquons, d'ailleurs, que tout se passe exactement de la même façon, soit que l'arbre se déforme (comme nous l'avons supposé), soit que le palier soit monté sur un support élastique (comme c'est le cas dans une machine à équilibrer); dans cette dernière hypothèse, l'arbre peut être supposé rigide.

On construit la courbe de X en fonction de ω (ou plus exactement de θ en fonction de N), en s'attachant à déterminer avec le plus de précision possible X_c et ω_c . Puis on donne le trait de crayon d'équilibrage en mesurant la vitesse ω , ainsi que X , données que l'on reporte sur la courbe.

On mène la droite oe de (fig. 7); on voit aisément que

$$ae = \frac{\omega_c}{\omega} X,$$

par suite

$$\frac{ae}{ab} = \frac{1}{X_c} \times X \frac{\omega_c}{\omega} = \sin \varphi.$$

On construit le demi-cercle de centre a

et de rayon ab ; on mène l'horizontale ef et la droite af , ce qui donne l'angle φ .

Il faut toutefois observer la règle suivante : si $\omega < \omega_c$, utiliser le quart de cercle de droite, car

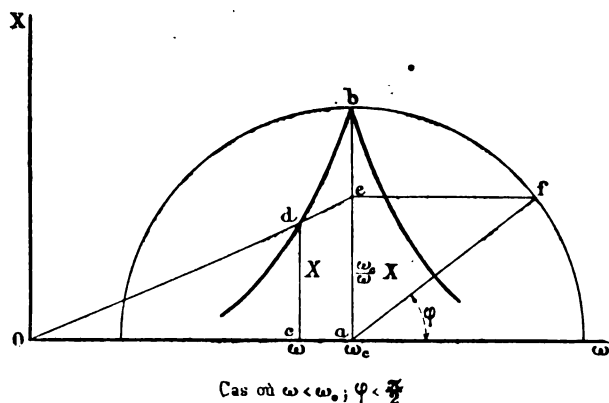


Fig. 7.

$\varphi < \frac{\pi}{2}$ (fig. 7); ω_c , si $\omega > \omega_c$ utiliser le quart de cercle de gauche, car $\varphi > \frac{\pi}{2}$ (fig. 8).

Pour avoir la position du balourd, il suffit d'avancer

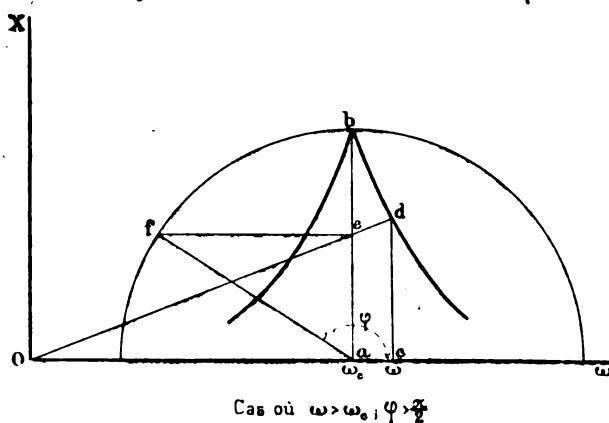


Fig. 8.

de l'angle φ , maintenant connu, en avant du milieu du trait de crayon.

Cette méthode permet de déterminer φ avec une erreur d'environ 5° à 10° en plus ou en moins.

DÉTERMINATION DE LA MASSE DU CONTREPOIDS. — Rappelons que l'amplitude maximum a pour valeur

$$X_c = \frac{m \omega_c r}{A} = \frac{m r}{A} \sqrt{\frac{K}{M}};$$

elle est proportionnelle au moment mr du balourd.

Soit ρ le rayon du cercle d'équilibrage sur lequel on place les contrepoids.

On trace une première courbe qui donne X'_c proportionnel à mr . On place un contrepoids provisoire p , quelconque, diamétralement opposé au balourd; le moment de ce contrepoids est $p\rho$; p est connu. On trace une nouvelle courbe qui donne X'_c proportionnel à $mr - p\rho$; on a donc

$$\frac{X_c}{X'_c} = \frac{mr}{mr - p\rho};$$

d'où

$$mr = \frac{X_c}{X_c - X'_c} p\rho.$$

Le contrepoids définitif P doit être tel que $P\rho = mr$; par suite

$$P = \frac{X_c}{X_c - X'_c} p.$$

On peut donc déterminer, avec une certaine approximation tout au moins, la valeur du contrepoids définitif P par deux expériences.

Le calcul précédent s'applique au cas où le contrepoids provisoire p est trop faible; ce dont on est averti par le fait que le balourd résultant est au même point dans la seconde expérience que dans la première.

Si le contrepoids provisoire est, au contraire, trop fort, la position du balourd est dans la deuxième expérience diamétralement opposé à ce qu'elle était dans la première et on a dans ce cas

$$P = \frac{X_c}{X_c + X'_c} p.$$

II. Equilibrage sur deux paliers. — Jusqu'ici, pour la facilité de l'exposition, nous n'avons envisagé que le cas, quelque peu théorique, de l'équilibrage sur un palier, cas qui ne se présente guère que dans certaines excitatrices en bout d'arbre et dans les volants en porte à faux.

Nous allons maintenant généraliser, et étudier le cas d'une pièce longue reposant sur deux paliers.

RÉDUCTION DES BALOURDS. — Considérons une pièce du type qui vient d'être indiqué. Sur cette pièce existent un certain nombre de balourds qui donnent naissance, pendant la rotation, à un système de forces (fig. 9 a). Ce système peut se réduire à une force unique appliquée en un point quelconque, et un couple (fig. 9 b).

Nous choisirons le point d'application de la force unique de telle sorte que celle-ci tende à déplacer la pièce en laissant son axe toujours parallèle à lui-même. Nous symboliserons la force unique par un balourd que nous désignerons par m , et placé en un point répondant à la condition énoncée plus haut. Le couple sera repré-

senté par les deux balourds μ et μ' , de moments μr et $\mu' r'$ égaux engendrant des forces égales.

Balourd m . — Pendant la rotation, le balourd m engendre une force $m \omega^2 r$ qui tend à déplacer la pièce parallèlement à elle-même de la quantité X , dont la direction est décalée de φ en arrière du balourd.

Si M est la masse du système et KX la réaction élas-

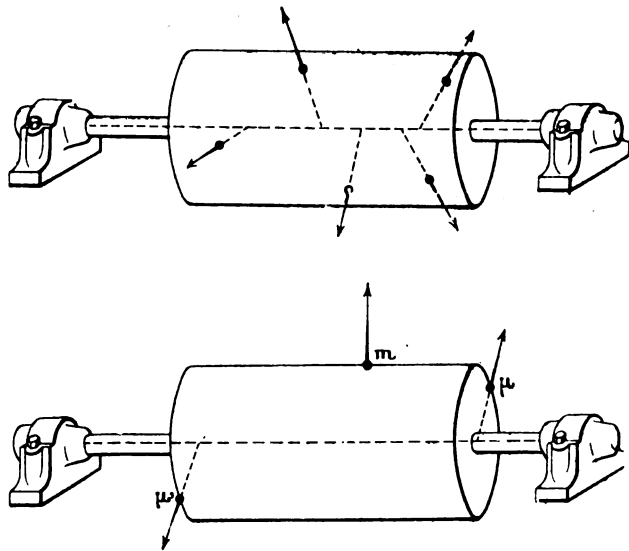


Fig. 9 a et 9b.

tique des arbres ou des paliers, il y aura une vitesse critique

$$\omega_m = \sqrt{\frac{K}{M}},$$

pour laquelle la pièce vibrera plus fortement.

Si le balourd m existe seul, il entraînera la pièce dans une vibration pendant laquelle l'axe restera toujours parallèle à lui-même ; les arbres se déformeront comme le montre la figure 10 ; par suite, les deux

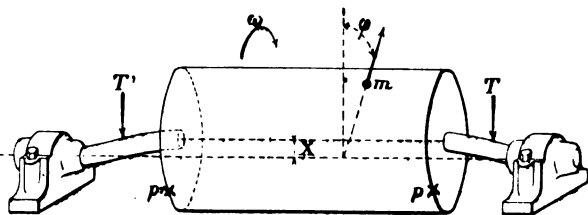


Fig. 10.

coups de crayon d'équilibrage, donnés à droite et à gauche de la pièce, vont laisser deux traces, T et T' , situées du même côté de l'arbre et exactement sur la même ligne.

Si on détermine φ , il sera alors facile de corriger m

grâce à deux contrepoids p et p' placés sur les cercles d'équilibrage à l'opposé du balourd.

Balourds μ et μ' . — Les forces égales et opposées $\mu \omega^2 r$ et $\mu' \omega^2 r'$, engendrées par les deux balourds μ et μ' , de moments égaux, tendent à faire pivoter l'axe de la pièce de l'angle α sur sa position primitive (fig. 11). Le

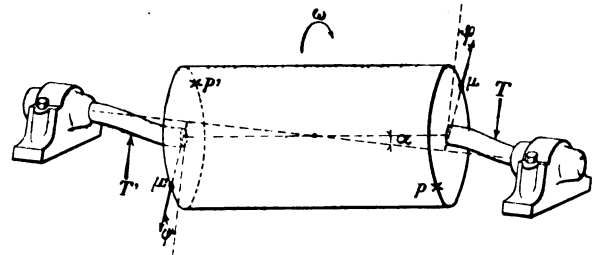


Fig. 11.

plan dans lequel s'effectue ce déplacement fait l'angle φ avec celui qui contient les balourds. A droite comme à gauche de la pièce, φ représente le décalage du déplacement sur la position du balourd.

Si I est le moment d'inertie, $C\alpha$ le couple élastique engendré par la déformation de l'arbre ou du support des paliers, il existera une vitesse critique

$$\omega_\mu = \sqrt{\frac{C}{I}},$$

pour laquelle la pièce vibrera plus fortement.

Si les deux balourds μ et μ' existent seuls, les coups de crayon d'équilibrage laisseront deux traces T et T' qui seront de part et d'autre de l'arbre et exactement opposées l'une à l'autre.

Il sera alors facile de corriger μ et μ' grâce à deux contrepoids p et p' placés sur les cercles d'équilibrage ; cela, à la condition de connaître φ .

Séparation expérimentale des balourds m et μ, μ' . — Considérons le palier de droite, par exemple, et traçons la courbe de l'amplitude en fonction de la vitesse, en utilisant un comparateur ainsi que nous l'avons déjà indiqué.

Si le balourd m existait seul, on obtiendrait la courbe théorique désignée par m sur la figure 12 avec un maximum en ω_m .

Si les balourds μ, μ' existaient seuls, on obtiendrait la courbe désignée par μ, μ' avec un maximum en ω_μ , car le déplacement angulaire α produit le même effet sur le comparateur que le déplacement X .

Il n'y a aucune raison pour que $\omega_m = \omega_\mu$, car K, M, C et I sont en général différents et, par suite, les deux maxima sont nettement séparés.

Les mêmes considérations s'appliquent pour le palier de gauche. Si m et μ, μ' existent simultanément, la vibration observée sera la somme vectorielle, en grandeur et en phase, des deux vibrations composantes.

Divisons maintenant la figure 12 en un certain nombre de zones.

Au voisinage immédiat de ω_m dans la zone a b, la vibration engendrée par le balourd m sera, en général, prépondérante, et celle engendrée par μ, μ' infime. Nous pourrions donc admettre que dans cette zone tout se passera comme si le balourd m existait seul, à l'exclusion de μ, μ' .

Au voisinage de ω_μ dans la zone c d, les choses sont inversées, et tout se passe comme si μ et μ' existaient seuls, à l'exclusion de m .

Pour séparer expérimentalement m , d'une part, et μ, μ' , d'autre part, il suffit donc de tourner au voisinage immédiat des deux maxima, ω_m , d'une part, ω_μ d'autre part.

MODE OPÉRATOIRE. — En s'appuyant sur les considérations précédentes et sur la remarque que les conclusions relatives à l'équilibrage sur un palier s'appliquent à chacun des deux paliers pris individuellement, il est facile d'établir une méthode rationnelle d'équilibrage.

On part de la pièce brute, et, à l'aide d'un comparateur, on trace, pour les deux paliers, la courbe de l'amplitude en fonction de la vitesse. Cette courbe est assez complexe, elle présente plusieurs maxima, et des points mal déterminés par suite de vibrations parasites. Nous n'insisterons pas sur les causes diverses de ces vibrations, pas plus que sur les phénomènes curieux qui se produisent dans la zone bc (fig. 12), phénomènes très

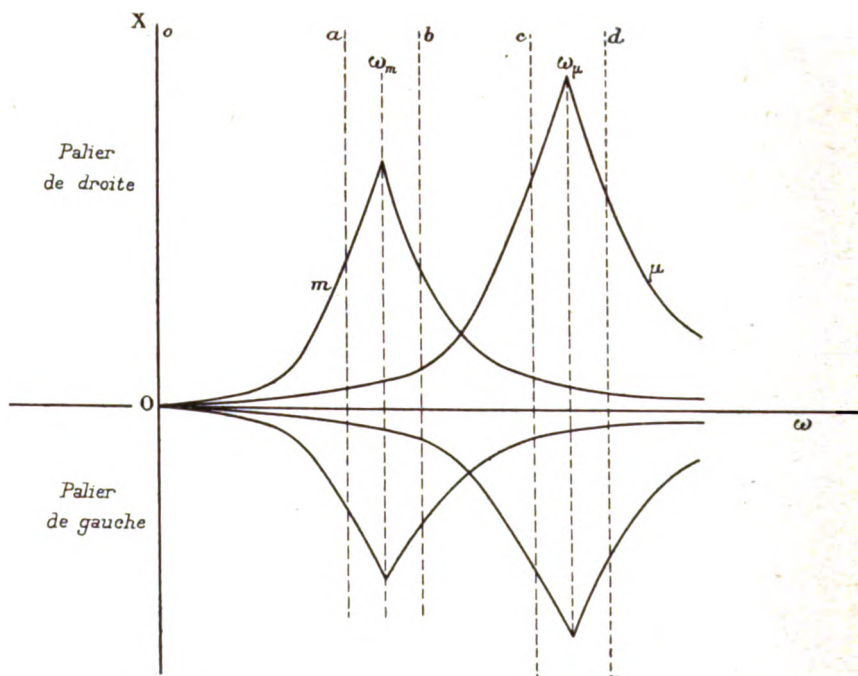


Fig. 12.

intéressants au point de vue théorique, mais sans intérêt pratique ⁽¹⁾.

Mais, en général, on peut nettement distinguer les deux maxima fondamentaux ω_m et ω_μ .

On commence par isoler le balourd m en tournant au voisinage de ω_m , et on donne les deux traits de crayon d'équilibrage, ce qui doit laisser deux traces du même côté de l'arbre et sans aucun décalage entre elles.

On détermine les angles φ et φ' qui séparent, des deux côtés de la pièce, la position des traces de celle

⁽¹⁾ Partant de ω_m , si on augmente la vitesse, on continue assez longtemps à suivre la courbe m (fig. 12) au delà du point où la vibration résultant de μ, μ' devrait se faire sentir; puis, brusquement, on passe à la vibration composée résultant des balourds m et μ, μ' .

Ce phénomène peut se comparer à celui de la surfusion dans la cristallisation.

du balourd, en utilisant soit la méthode « entre queues » si on peut tourner dans les deux sens, soit celle indiquée plus haut si on ne peut tourner que dans un sens. Naturellement on doit avoir $\varphi = \varphi'$ pour les deux paliers.

On corrige le balourd par deux contrepoids provisoires p et p' , placés comme il est indiqué figure 10, du même côté de la pièce et à l'opposé du balourd.

Puis on procède à une nouvelle détermination du balourd m partiellement corrigé; il ne doit pas avoir changé en position, mais seulement en grandeur. Par comparaison des amplitudes maxima dans les deux expériences, on déduit la valeur des contrepoids définitifs P et P' .

Définitif est d'ailleurs un terme impropre; il faut en réalité plusieurs retouches avant d'approcher du résultat désiré, sans d'ailleurs y parvenir, car on se heurte au phénomène du déplacement du balourd.

C'est qu'en effet, au cours des retouches successives, la vibration provoquée par le balourd m diminue d'amplitude, ce qui permet à la vibration qui résulte de μ et μ' de prendre peu à peu la prépondérance. Par suite les traits de crayon successifs tendent à indiquer, non plus la position de m , mais celles de μ et μ' ; ils se déplacent donc.

Dès que le déplacement du balourd commence à se manifester sur un palier, il faut abandonner la correction du côté de ce palier, mais la continuer du côté de l'autre palier jusqu'à l'apparition du phénomène.

Grâce à ce tour de main, on parvient assez bien à diminuer l'erreur qui provient d'un mauvais choix du rapport des contrepoids P et P' ; il se peut en effet qu'ils soient trop lourds d'un côté et pas assez de l'autre, de sorte que la résultante des forces qu'ils engendrent peut être égale à la force qui résulte de m , mais ne pas passer par son point d'application.

Ce défaut, s'il existe, est d'ailleurs sans conséquence grave; il a en effet pour résultat d'introduire un couple, c'est-à-dire un balourd du type μ, μ' ; or l'essentiel, dans l'opération qui vient d'être indiquée, est de corriger m ; μ et μ' ne doivent être corrigés qu'en suite.

C'est précisément à cette élimination des balourds μ, μ' que l'on passe dès que le phénomène du déplacement du balourd a fait son apparition dans l'opération précédente. Pour cela, on suit exactement le même processus, mais en tournant, cette fois au voisinage de ω_μ . Les traces de crayon doivent être de part et d'autre de l'arbre et exactement opposées; de plus, on doit avoir $\varphi = \varphi'$ à droite et à gauche de la pièce. On corrige les balourds μ et μ' grâce à des contrepoids p et p' placés comme l'indique la figure 11, c'est-à-dire de part et d'autre de la pièce. Mais cette fois il est essentiel, en plaçant p et p' , de ne pas introduire un nouveau balourd m , puisque celui-ci vient d'être éliminé. On y parviendra en observant la règle suivante.

Soient ρ et ρ' les rayons des deux cercles d'équilibrage placés à droite et à gauche de la pièce; les contrepoids p et p' devront être tels que

$$\frac{p}{p'} = \frac{\rho'}{\rho},$$

c'est-à-dire inversement proportionnels aux rayons des cercles. En effet si, primitivement, le centre de gravité se trouvait sur l'axe du système (pas de balourd m), après la pose des contrepoids, il sera encore sur l'axe puisque

$$\rho p = \rho' p'.$$

Il ne reste plus qu'à déterminer la valeur des contrepoids définitifs, et à perfectionner le réglage jusqu'à apparition du phénomène du déplacement du balourd sur les deux paliers. A ce moment, s'il y a lieu, on revient à la correction du balourd m , et ainsi de suite, en agissant par retouches successives alternativement sur m et sur μ, μ' ; mais il est à remarquer que

toute retouche sur m peut détruire la correction effectuée sur μ, μ' , tant dans sa position que dans sa grandeur.

Pendant tout le cours des opérations la position des deux maxima ω_m et ω_μ ne se modifie pas.

Conclusion. — La méthode d'équilibrage qui vient d'être exposée est extrêmement simple à mettre en œuvre, puisqu'elle n'exige aucun appareil spécial, mais seulement un tachymètre et un comparateur, appareils que l'on trouve dans tous les ateliers.

On peut l'appliquer en faisant tourner la pièce soit sur des paliers ordinaires, soit sur des paliers élastiques spéciaux pour l'équilibrage.

Elle permet 1° de déterminer la valeur de l'angle φ séparant la position du balourd de celle du trait de crayon dans d'équilibrage, lorsque l'on ne peut tourner que dans un seul sens; 2° de déterminer en deux expériences, assez approximativement, la valeur du contrepoids que l'on doit opposer au balourd; 3° un équilibrage rationnel des pièces de formes compliquées, grâce à la réduction de l'ensemble des balourds qui influencent la rotation, à deux types, bien définis: m et μ, μ' , que l'on corrige séparément.

Elle a cependant certains inconvénients.

Tout d'abord, ainsi que nous l'avons dit, la courbe de N en fonction de ω présente souvent plusieurs maxima, parmi lesquels il faut sélectionner ceux qui correspondent à ω_m et ω_μ ; ceci est, en général, facile, car, outre qu'ils sont plus considérables, ces maxima se reproduisent sur les deux paliers, identiquement pour les mêmes valeurs de ω , tandis qu'il n'en est pas de même des autres maxima.

Les maxima parasites ont des origines diverses: harmoniques des vibrations fondamentales, vibrations des supports des paliers ou de certaines parties du bâti, etc.

Il est d'ailleurs à noter que certaines machines sont soumises à des vibrations dont la cause est, à tort attribuée à un mauvais équilibrage, mais dont l'origine est tout autre: désaxage des arbres au niveau de l'accouplement, faux rond des portées, mauvais état des coussinets, etc... Ces vibrations ne peuvent naturellement pas se corriger à l'aide de contrepoids.

Un autre genre de difficultés peut provenir de ce que les deux maxima ω_m et ω_μ , au lieu d'être nettement séparés, sont au contraire assez voisins l'un de l'autre. Dans de telles conditions, la séparation des deux types de vibrations devient quelque peu illusoire. On parvient cependant à obtenir des résultats assez approchés en opérant pour le premier type de balourd rencontré avant le maximum qui lui correspond, de manière à

obtenir des angles φ inférieurs à $\frac{\pi}{2}$, et pour le deuxième type rencontré, en opérant après le maximum, pour obtenir des angles supérieurs à $\frac{\pi}{2}$. En d'autres termes, on doit se servir (fig. 12) des zones comprises entre a et ω_m d'une part, ω_μ et d d'autre part, et ne pas utiliser la région comprise entre ω_m et ω_μ .

Ajoutons en terminant que, pour évaluer l'amplitude de la vibration, on peut recourir à d'autres appareils que le comparateur. On peut, par exemple, disposer un miroir sur le palier ; un rayon lumineux se réfléchissant sur le miroir vibrant vient tomber sur un écran où il trace une raie lumineuse dont la longueur est proportionnelle à l'amplitude de la vibration.

Dans l'invention de tels dispositifs, l'imagination de chacun peut se donner libre carrière.

Nous adressons nos remerciements à la Direction de l'Ecole supérieure d'Electricité, qui a bien voulu nous laisser la libre disposition de ses laboratoires pour y poursuivre nos expériences ⁽¹⁾.

C. FÉRU et J. LABOURET.

Remarques sur la normalisation des tensions électriques des réseaux de transmission et de distribution d'énergie par courant alternatif triphasé

La « R. G. E. » a publié un projet de normalisation des dimensions des éléments de la construction mécanique dans son numéro du 13 mai 1922, t. XI, p. 714-716. Ce projet envisage l'adoption de séries géométriques ayant pour raison de la progression une puissance fractionnaire de 10, par exemple 1/10, 1/20, ou même 1/40. Ces séries ont toutes l'avantage de se reproduire identiques à elles-mêmes par multiplication par 10 ou par des puissances entières de 10. La question de la normalisation des tensions doit être traitée à part, en cherchant la série qui réunit le plus d'avantages. L'auteur propose une solution nouvelle dans laquelle les termes font partie d'une série géométrique dont la raison est $\sqrt[3]{3}$; cette série jouit de la propriété de passage des tensions de deux en deux par multiplication par le facteur $\sqrt[3]{3}$; d'autre part, les chiffres proposés correspondent, pour la plupart, aux tensions des réseaux existants ou en projet.

I. Introduction. — L'une des caractéristiques de l'industrie moderne est la tendance à la réduction du nombre des types et au classement de ces derniers dans une série normale dont les éléments satisfont à toutes les applications habituelles.

Les tensions des réseaux de transmission d'énergie électrique n'ont pas échappé à la normalisation et les séries actuellement proposées sont très nombreuses; elles sont basées soit sur l'inventaire des réseaux existants, soit sur l'emploi de séries mathématiques plus ou moins compliquées convenablement choisies.

Le premier type de série, basé uniquement sur les réseaux existants, conduit à l'adoption d'une gamme des tensions assez complexe et trop serrée, dans laquelle il faudrait choisir en sacrifiant le minimum d'intérêts particuliers.

Le second type de série dérive d'une expression mathématique dont le choix ne doit pas être complètement arbitraire.

On peut, en effet, qualifier d'avantageuse pour une transmission par courant alternatif triphasé, la série dans laquelle les nombres se déduisent les uns des autres par simple multiplication par $\sqrt[3]{3}$, car alors le changement de montage, étoile ou triangle, d'un des circuits triphasés des transformateurs permet de passer d'une tension à sa voisine.

Cet avantage est particulièrement important pour les réseaux à très haute tension dont l'exploitation de début pourra être faite à tension réduite plus sûrement et même plus économiquement qu'à la tension normale.

II. Séries géométriques. — S'inspirant de cette remarque, M. Labour ⁽²⁾ a proposé la série géométrique suivante dans laquelle la plupart des valeurs se succèdent sensiblement dans le rapport $\sqrt[3]{3}$:

3200 — 5600 — 10000 — 18000 — 56000 — 100000 — 130000.

On pourrait prolonger cette série par les deux nouveaux termes suivants :

180000 et 240000.

Nous pensons que la série la plus avantageuse et, par conséquent, la plus facile à faire accepter, sera celle qui, tout en présentant l'avantage technique signalé plus haut, correspondra le mieux aux tensions actuelles. Nous pouvons, par exemple, améliorer la correspondance de la série précédente en multipliant chacun de ses termes par un facteur constant, par exemple par 0,9; on a ainsi la nouvelle série suivante :

3000 — 5000 — 9000 — 16500 — 50000 — 90000 — 120000 — 165000 — 220000.

Son expression générale a la forme suivante, déduite de celle donnée par M. Labour :

$$0,9 \times 1,3336^n.$$

Mais au lieu de partir d'une série artificielle établie par analogie avec les séries de normalisation propo-

⁽¹⁾ Voir sur ce sujet : Perfectionnements récents aux méthodes d'équilibrage des pièces mécaniques ; W. AKIMOFF et CARL HERING, *R. G. E.*, 3 août et 19 octobre 1918, t. IV, p. 155 et 593.

⁽²⁾ E. LABOUR; Unification des dimensions. *R. G. E.*, 1917, t. II, p. 177.

sées pour l'unification des dimensions d'éléments géométriques, il paraît beaucoup plus simple de choisir directement une loi mathématique fonction du facteur $\sqrt{3}$ que l'on se propose de mettre en évidence. La série géométrique dont la raison serait $\sqrt{3}$ ne comprenant pas assez de termes, il est facile d'intercaler de nouveaux termes intermédiaires en adoptant pour la raison de la série le facteur $\sqrt{3}$. On obtient, par exemple, les valeurs suivantes, en choisissant le facteur de proportionnalité de manière à concilier au mieux les intérêts des réseaux existants :

210 000 — 156 000 — 125 000 — 90 000 — 70 000 —
55 000 — 45 000 — 30 000 — 23 000 — 18 000 — 15 000
— 10 000 — 5 500.

Nous proposons d'adopter pratiquement la série ci-dessous qui ne s'écarte de la précédente que de valeurs assez faibles pour permettre une correction par l'emploi des sorties supplémentaires sur les enroulements des transformateurs :

220 000 — 150 000 — 120 000 — 90 000 — 70 000 —
55 000 — 45 000 — 30 000 — 22 000 — 18 000 — 15 000
— 10 000 — 5 500.

Il est entendu que ces tensions sont des valeurs mesurées à l'extrémité réceptrice des tronçons envisagés. D'après la loi de formation de cette série, on obtient les tensions de deux en deux par simple changement de montage⁽¹⁾.

III. Comparaison avec les autres séries proposées. — Les Américains ont admis la série suivante

arithmétique et non plus géométrique; ainsi qu'on le voit, ses valeurs sont des multiples de 11 (ou de 110) :

220 000 = 2 000 × 110
154 000 = 1 400 × 110
132 000 = 1 200 × 110
110 000 = 1 000 × 110
88 000 = 800 × 110
66 000 = 600 × 110
44 000 = 400 × 110
33 000 = 300 × 110
22 000 = 200 × 110
13 200 = 120 × 110
6 600 = 60 × 110
2 200 = 20 × 110

Cette série, dont les termes sont quelquefois assez voisins de ceux de la série proposée, ne présente pas cependant l'avantage du passage d'un degré à l'autre par multiplication par $\sqrt{3}$ ou par des puissances de ce facteur.

D'autres séries ont été proposées soit par les Comités électrotechniques d'Angleterre, de France, par la Commission électrotechnique internationale, par le Secrétariat général de l'Association suisse des Electriciens⁽²⁾ enfin, par l'Association allemande des Electriciens. Nous avons résumé toutes ces séries dans le tableau suivant :

Tableau résumé des séries des tensions proposées (courant alternatif triphasé, tensions efficaces en volts).

| SÉRIE nouvelle proposée | SÉRIE de M. Labour complétée | SÉRIE de M. Labour modifiée | SÉRIE du Comité électro- technique français | SÉRIE du Comité national britannique | SÉRIE américaine | SÉRIE allemande | SÉRIE proposée en Suisse | SÉRIE proposée par la Commission électro- technique Internationale |
|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| moyennes | moyennes | moyennes | moyennes | minima maxima | moyennes | moyennes | minima maxima | minima |
| 5 500 | 3 200 | 3 000 | 1 000 | 3 000—3 300 | 2 200 | 3 000 | 4 550—5 200 | 1 500 |
| 10 000 | 5 600 | 5 000 | 3 000 | 6 000—6 600 | 6 600 | 5 000 | 5 700—6 400 | 3 000 |
| 15 000 | 10 000 | 9 000 | 5 500 | 10 000—11 000 | 13 200 | 6 000 | 8 000—9 000 | 6 000 |
| 18 000 | 18 000 | 16 500 | 10 000 | 30 000—33 000 | 22 000 | 10 000 | 9 800—11 000 | 10 000 |
| 22 000 | 56 000 | 50 000 | 13 500 | 60 000—66 000 | 33 000 | 15 000 | 13 900—15 600 | 15 000 |
| 30 000 | 100 000 | 90 000 | 15 000 | 100 000—110 000 | 44 000 | 25 000 | 26 800—30 000 | 20 000 |
| 45 000 | 130 000 | 120 000 | 22 000 | 150 000—165 000 | 66 000 | 35 000 | 46 500—52 000 | 30 000 |
| 55 000 | 180 000 | 165 000 | 30 000 | | 88 000 | 50 000 | 58 000—65 000 | 45 000 |
| 70 000 | 240 000 | 220 000 | 45 000 | | 110 000 | 60 000 | 80 000—90 000 | 60 000 |
| 90 000 | | | 60 000 | | 132 000 | 100 000 | 100 000—112 000 | |
| 120 000 | | | 75 000 | | 154 000 | | 139 000—156 000 | |
| 150 000 | | | 90 000 | | 220 000 | | | |
| 220 000 | | | 120 000 | | | | | |

(1) Une série de tensions ayant même raison a déjà été proposée en Suisse. Voir WYSSLING; La normalisation des hautes tensions en Suisse. *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, avril 1921, p. 82; *R. G. E.*, 1922, t. XI, p. 168.

(2) M. Wyssling introduit la notion de haute tension modérée de 6 000 v à 16 000 v et les hautes tensions propre-

ment dites en dessus de ce chiffre. Cet auteur signale, avec raison, qu'il n'est pas nécessaire qu'il existe une dépendance entre ces deux groupes de tension qui répondent à des conceptions et à des modalités différentes.

Voir aussi : Normalisation des tensions. *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, 1919, n° 6, et *Revue B. B. C.*, février-mars 1921, p. 56.

Nous avons établi, d'après ce tableau, le graphique de la figure ci-jointe (fig. 1), où chaque tension est représentée par un point. Dans le cas où un maximum et un minimum sont indiqués, on a réuni par un trait continu ces deux valeurs extrêmes. Les lignes verticales en traits interrompus font mieux ressortir la comparaison de ces diverses séries.

Comparativement avec la série proposée, on peut remarquer que la tension de 220 000 v n'est envisagée que dans la série américaine. La tension de 150 000 v (ou voisine de ce chiffre) se trouve dans les séries anglaise, américaine et suisse. La tension de 120 000 v

est particulière aux séries françaises; les tensions qui s'en rapprochent le plus sont celles de 110 000 v pour les séries anglaise, américaine et suisse et 132 000 v de la série américaine. La tension de 90 000 v se retrouve dans les séries française, américaine, allemande et suisse. La tension de 70 000 v est voisine de celle de 75 000 v proposée par le comité électrotechnique français, et 66 000 v des séries anglaises et américaine, et de 65 000 v de la série suisse. La tension de 55 000 v remplace celle de 60 000 v dont elle ne diffère que de 8 pour 100, tension rencontrée dans les séries du Comité électrotechnique français, anglaise, allemande, suisse

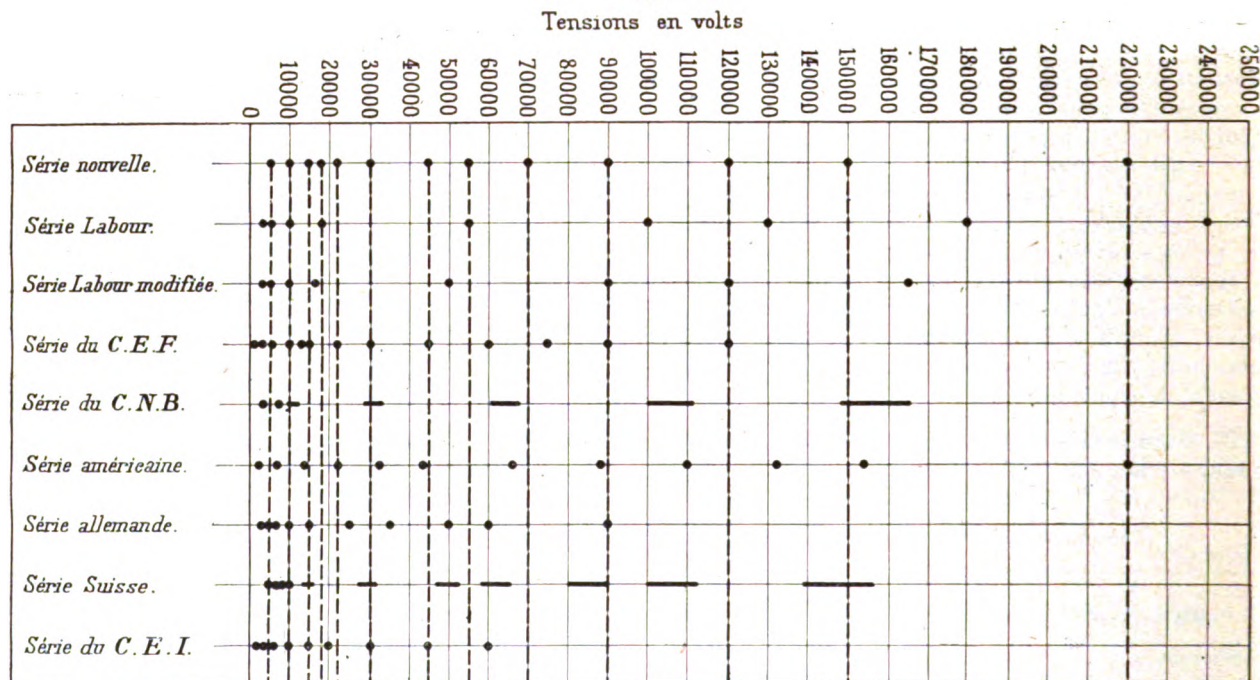


Fig. 1.

et de la Commission électrotechnique internationale. La tension de 45 000 v se retrouve pratiquement dans les séries du Comité électrotechnique français, américain, suisse et de la Commission électrotechnique internationale.

La même correspondance pourrait être établie pour les tensions inférieures; il serait fastidieux d'en pousser plus loin le développement.

IV. Conclusion. — En résumé, malgré les nombreux types de séries proposées, nous pensons utile d'en indiquer une nouvelle paraissant intéressante, d'une part, à cause de sa propriété de passage des ten-

sions de deux en deux par multiplication par le facteur $\sqrt{3}$; d'autre part, parce que les chiffres proposés correspondent, pour la plupart, aux tensions des réseaux existants ou en projet.

D'ailleurs, en principe, nous ne pensons pas qu'il y ait lieu d'unifier les formules de normalisation, par exemple en les ramenant toutes à des puissances fractionnaires de 10, mais qu'il convient de tenir compte, dans chaque cas, des propriétés spéciales des éléments normalisés.

Ch. LAVANCHY,
Ingénieur à la Société générale d'Entreprises.

La Semaine d'Electromotoculture d'Ondes

Dans cette étude, l'auteur donne un aperçu très succinct des divers appareils d'électromotoculture exposés au cours de la Semaine d'Electromotoculture qui a eu lieu à Ondes, du 12 au 19 octobre 1921. Il donne, en outre, une description plus détaillée d'un nouveau chariot d'ancrage, dont les mouvements sont automatiquement conjugués avec ceux du treuil.

Introduction. — Sous l'active impulsion de son président M. Rouart, avec le concours de M. Sourisseau, maître de conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse et directeur de la Station de Mécanique agricole, l'Office agricole de la région du sud-ouest avait organisé à l'Ecole d'Agriculture d'Ondes, du 12 au 19 octobre 1921, une semaine d'électromotoculture qui a été incontestablement l'une des plus importantes manifestations du genre. Très bien organisée, on peut dire sans crainte qu'elle a eu le plus franc succès.

Le programme était large et prévoyait non seulement les essais de labourage électrique, aujourd'hui classiques, mais aussi l'exposition en ordre de marche des appareils d'intérieur de ferme (batteuses, presse à fourrages, coupe-racines, concasseurs, etc.), des machines de pompage pour l'irrigation et la culture maraîchère, etc. En outre, estimant que malgré la publicité déjà largement faite des divers procédés d'électromotoculture, le public est encore trop peu familiarisé avec ces méthodes nouvelles, on a pensé qu'il y aurait le plus grand intérêt à les exposer de nouveau en se plaçant au triple point de vue technique, pratique et économique. C'est ainsi que l'on avait prié M. Juppont, administrateur des Ateliers du Languedoc de traiter la question des rapports de l'agriculture et de l'industrie, que M. Duperrier avait été chargé de montrer ce que l'on peut réaliser grâce aux coopératives et associations syndicales dont il est, en Eure-et-Loir, non seulement le promoteur mais encore l'âme réalisatrice, que M. Sourisseau, enfin, eut pour mission de guider les agriculteurs et de leur expliquer les machines qui fonctionnaient autour d'eux.

L'Ecole d'Ondes et le domaine y attaché ont été électrifiés sous la direction de M. Sourisseau. La Société pyrénéenne possède près d'Ondes un poste de transformation important qui reçoit du courant triphasé à 55 000 v provenant de l'usine d'Orlu; le courant ramené à la tension de 25 000 v est envoyé à Castelsarrasin; c'est de cette ligne que part la dérivation de quelques centaines de mètres qui aboutit au poste

de 70 kw installé à l'Ecole d'Agriculture. Le courant y est transformé à 5 000 v, puis distribué dans le domaine; une cabine roulante, comportant un autre transformateur (de 54 kw) muni de diverses prises de courant donnait à volonté : 1 000, 600 ou 500 v. Enfin un petit poste aérien fournissait du courant basse tension (215 v entre phases, 125 v entre phase et neutre). Comme on peut en juger les exposants trouvèrent là du courant à la tension la mieux appropriée à celle des applications qui les intéressaient. Quant aux treuils de labourage ils disposaient de 2 km de lignes à 5 000 v construites en bordure des champs à labourer et de 300 m de câble souple à trois conducteurs de 20 mm² chacun.

Appareils d'électromotoculture. — Ne pouvant prétendre à décrire ici en détail toutes les machines exposées, je me contenterai simplement de signaler les plus originales et celles qui, par leur nouveauté ont particulièrement retenu l'attention.

TREUILS DE LABOURAGE. — Le matériel très complet de la Société d'Electromotoculture, étudié en vue de conduire toujours au moteur de puissance minimum compatible avec un prix de revient du travail acceptable, — donc à une meilleure utilisation — a été déjà décrit ici très longuement ⁽¹⁾ (treuil de labourage, lignes agricoles sur « poteaux noirs », galets de coincement, etc.). A Ondes, deux treuils furent mis en service : l'un du type 1919 de 50 ch, l'autre, du type 1921 de 35 ch. La bonne marche de ces appareils fut très appréciée par les agriculteurs présents.

Deux petits treuils Douilhet avaient également été exposés, mais non par le constructeur lui-même; ils avaient en effet été amenés à simple titre démonstratif par un des clients de cette firme.

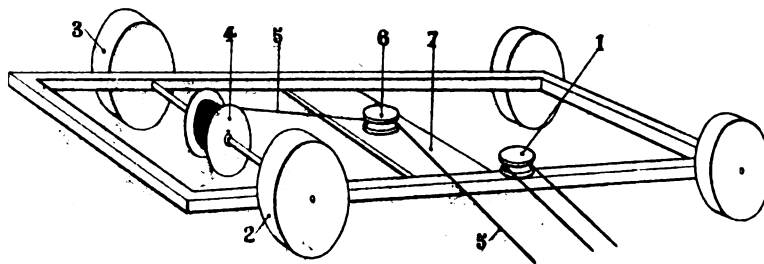


Fig. 1. — Vue schématique du chariot d'encrage automatique Boyer.

DISPOSITIFS D'ANCRAGES. — Un avocat toulousain, M. Boyer, auteur d'ouvrages de droit réputés, avait momentanément abandonné sa toge, non pour prendre

⁽¹⁾ Le nouveau matériel J. Estrade à la Semaine d'Electromotoculture d'Ondes. *R. G. E.*, 28 janvier 1922, t. XI, p. 121-128.

la charrue, mais pour exposer un chariot d'ancrage automatique (fig. 1), dont le principe est assez original. Ce treuil est essentiellement constitué par un châssis de 3,20 m de long sur 1,20 m de large monté sur quatre roues de 1,40 m de diamètre à jantes munies, d'une part de crampons pour assurer une parfaite



Fig. 2. — Schéma de la liaison du chariot d'ancrage et du treuil.

adhérence au roulement et, d'autre part, de joues débordantes s'enfonçant dans le sol pour s'opposer au ripage. Sur un des longerons est fixée la poulie 1 de retour du câble de traction de la charrue (l'un des brins aboutissant à cette charrue et l'autre au treuil).

Les deux roues arrière 2 et 3 du chariot sont solidaires de l'essieu sur lequel elles sont montées ; sur cet essieu est fixé un tambour d'enroulement 4 auquel aboutit un petit câble d'acier 5 de 6 mm seulement de diamètre qui, après avoir passé sur une poulie de renvoi 6 fixée à l'entretoise 7, va s'enrouler *en sens inverse* sur un second tambour spécial identique monté sur le treuil, ce tambour étant, comme le tambour 4, rendu solidaire de l'essieu arrière de ce treuil.

Le schéma (fig. 2) indique clairement le fonctionnement du système ; supposons que sur le chariot d'ancrage A le petit câble C s'enroule (comme indiqué dans la figure 1) de telle façon que le point d'arrivée du brin soit à la partie supérieure du tambour, alors que, sur le treuil T, ce point se trouve à la partie inférieure. Lorsque le treuil, après chaque rayage, avancera dans la direction de la flèche, il tirera en même temps sur le câble C provoquant ainsi l'avancement du chariot A d'une quantité égale.

En somme, à condition que les roues arrière du chariot adhèrent parfaitement au sol et ne glissent jamais, les mouvements de ce chariot et du treuil seront automatiquement conjugués. Dans la pratique il n'en sera certainement pas toujours ainsi, surtout si, pour éviter le ripage, on est obligé de charger le chariot de gueuses de fonte, ou lorsque le terrain est gras et détrempé. Mais la mise au point ne paraît cependant pas devoir présenter de difficultés insurmontables ; il y a là un appareil simple, rustique, qui doit retenir l'attention ; il est en outre tout à fait original comme conception. Je n'en dirai pas autant du système de renvoi du câble de traction exposé par M. Pelous ; un câble A B (fig. 3) était fixé à ses

extrémités sur des barreaux M N et M' N' maintenus en place par des piquets M, N, M', N' eux-mêmes retenus par des ancrages. Sur ce câble pouvait se déplacer la poulie de renvoi R guidée par une pince dans son déplacement. Or les Etablissements Douillet avaient adapté, aux démonstrations de Cloches,

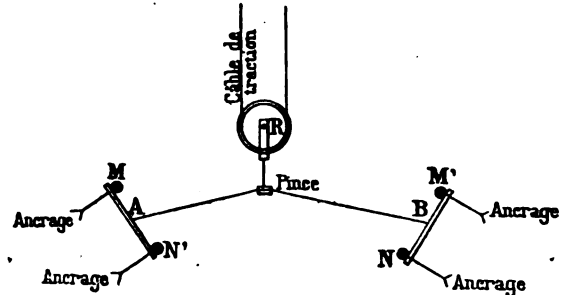


Fig. 3. — Système de renvoi de câble de traction imaginé par M. Pelous.

un dispositif tout à fait analogue et beaucoup plus simple comme mise en place, que j'ai décrit ici même ⁽¹⁾. Le dispositif Pelous a en outre d'autres inconvénients ; le câble a 25 m de longueur ; donc il faut, chaque fois qu'on a labouré une largeur équivalente, déplacer les ancrages (un à déplacer complètement, l'autre à retourner) ce qui cause une perte de temps très sensible ; de



Fig. 4. — Machine à battre équipée avec un élévateur de gerbes « olives » (Le tablier est en position relevée).

plus le câble prend, sous l'effort de traction exercé sur la poulie, une flèche assez grande ce qui conduit à des

⁽¹⁾ R. G. E., 17 décembre 1921, t. I, p. 889-890.

fourrières non labourées trop importantes, à moins de placer les ancrages dans la pièce du voisin ce qui, le plus souvent, sera impossible. Enfin, la pratique a

montré que deux systèmes de labourage seulement étaient vraiment recommandables en pratique : deux treuils avec traction directe de la charrue alter-

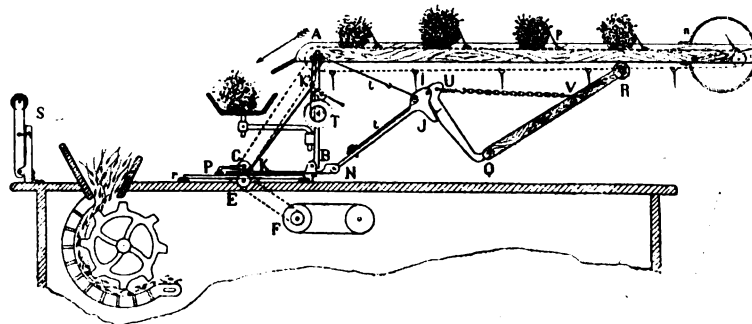


Fig. 5. — Vue schématique du transporteur de gerbes « Olives ».

nativement, ou un seul treuil travaillant en round-about.

trainner les gerbes, les liteaux sont armés de pointes p maintenues au moyen d'un ergot glissant dans un fer

ELÉVATEURS DE GERBES. — On sait combien est pénible le travail qui consiste à jeter les gerbes de la meule sur la plate-forme d'une batteuse à grand travail. Aussi nombre de constructeurs ont-ils essayé de le faire mécaniquement ; le système Olives, qui fonctionna à Ondes à la satisfaction de tous, est dû à un constructeur toulousain et a été tout d'abord essayé, puis modifié et mis au point au Laboratoire de mécanique agricole de l'Université de Toulouse par M. Sourisseau.

Il fonctionne soit comme un monte-paille, soit comme transporteur de gerbes permettant de prendre directement les gerbes au sommet de la meule. A cet effet, le tablier transporteur est supporté par un cadre mobile autour d'un axe horizontal fixé sur la machine à battre. Ce cadre est soutenu au moyen d'un système articulé réglable, ce qui permet de faire varier la hauteur de l'extrémité libre du cadre et de suivre progressivement le niveau de la meule jusqu'au ras du sol. Dans ce dernier cas, l'appareil fonctionne bien comme monte-paille. Sur la figure 4, qui représente un tel dispositif monté sur une machine à battre, le tablier est relevé jusqu'au maximum afin que l'on puisse se rendre compte de la hauteur que l'on est susceptible d'obtenir. L'axe horizontal n'est pas directement fixé sur la batteuse. Tout l'ensemble est supporté par une plate-forme tournant autour d'un axe vertical, ce qui permet d'orienter le tablier dans toutes les directions et de le replier sur la plate-forme de la batteuse suivant son axe longitudinal pour faciliter les déplacements.

Le tablier (fig. 5) est constitué par des liteaux fixés sur deux chaînes à maillons détachables passant sur deux roues dentées placées à chaque extrémité d'un cadre en bois en forme d'échelle, articulé sur l'arbre A. Cet arbre qui transmet le mouvement au tablier est porté par un autre cadre lui-même articulé en BB' et maintenu par des jambes de force KK'. L'arbre A est commandé par une série de transmissions C, E, F et un double engrenage d'angle entre C et E. Pour en-

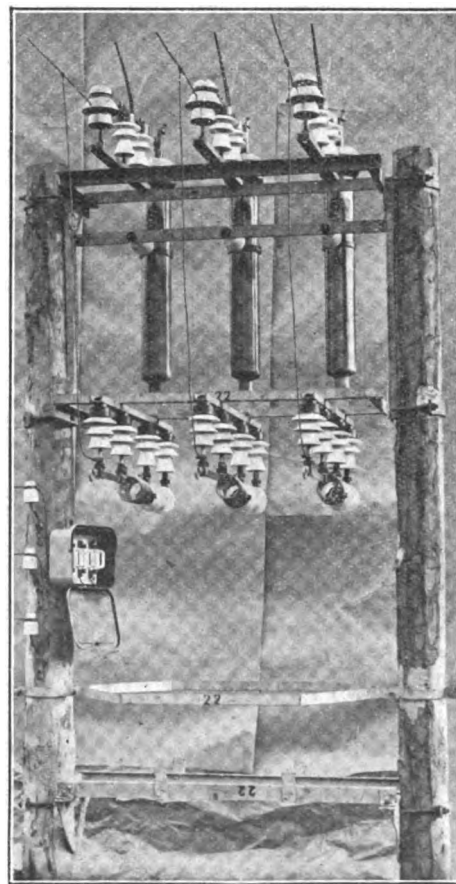


Fig. 6. — Poste aérien de transformation pour installations agricoles.

en U ; au droit de l'arbre A l'ergot abandonne le fer en U, les pointes deviennent folles et la gerbe tombe dans

le berceau. Un ouvrier n'a qu'à couper le lien et jeter la gerbe dans l'engrenage automatique; un embrayage, commandé au pied peut arrêter instantanément l'appareil. La puissance nécessaire, en marche normale est

de 0,5 ch; la vitesse linéaire du tablier est de 0,70 m : s; le débit est d'environ 30 gerbes à la minute. Il permet de supprimer deux ouvriers et augmente le rendement du chantier.

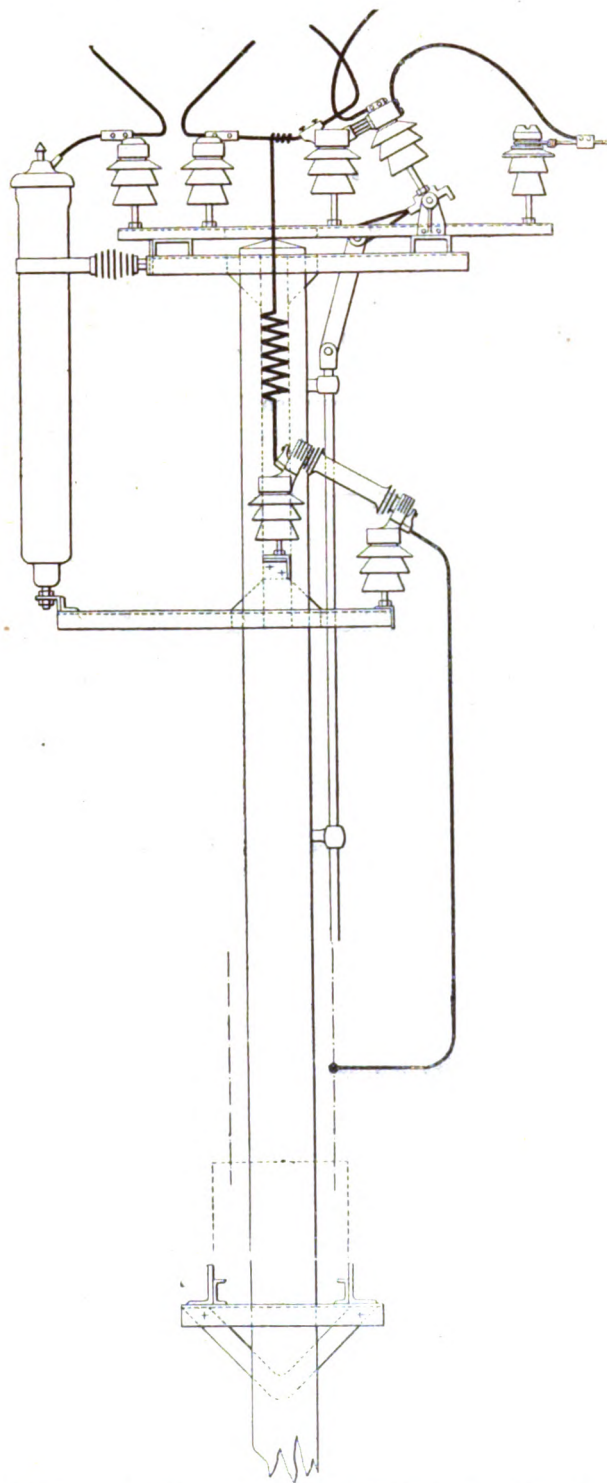


Fig. 7. — Branchement pour poste aérien de transformation, avec 2 parafoudre et résistances liquides, sectionneurs, fusibles et interrupteur commandé du sol.

Appareils électriques. — **POSTES AÉRIENS DE TRANSFORMATION.** — Les Etablissements industriels D. Soulé, de Bagnères de Bigorre, avaient installé un de leurs postes aériens, du type simplifié sur poteaux, que la plupart des coopératives agricoles ont adopté (fig. 6). Au moyen de 4 colliers, une charpente métallique légère en cornières est fixée sur 2 poteaux; à la partie supérieure sont montés les parafoudres à cornes; verticalement sont disposées les résistances liquides; à la partie inférieure enfin sont fixés les sectionneurs, les bobines de réactance et les coupe-circuits. Au-dessous, un collier et une solide traverse maintiennent et servent de support au transformateur (du type étanche, dit « d'extérieur »). Du côté basse tension, trois fusibles à poignée porcelaine sont placés en tête du départ, dans un coffret étanche.

Quelques exploitants ayant manifesté le désir de pouvoir faire des manœuvres sur ces postes, la nuit ou par temps humide, et de ne pas être obligés, en outre, d'interrompre le courant sur toute la ligne pour régler les parafoudres, par exemple, les établissements Soulé ont créé un type de poste plus perfectionné, qui est muni d'un interrupteur aérien (fig. 7). Celui-ci, commandé du sol par manivelle et crémaillère avec dispositif de cadenassage dans les deux positions « ouvert » et « fermé », remplace les sectionneurs. Il est connecté avant les parafoudres; on peut donc vérifier et régler ceux-ci sans qu'il y ait nécessité de couper le courant sur le réseau haute tension. En outre, on peut faire les manœuvres en charge, ce qui n'était pas possible avec des sectionneurs ordinaires, et ces manœuvres offrent une sécurité absolue.

Les fusibles des coupe-circuit sont en dessus des isolateurs ce qui évite tout décrochage intempestif; elles sont inclinées pour faciliter l'écoulement de l'eau en cas de pluie.

Ces postes, d'un prix de revient extrêmement bas, simples à monter, donnant pour les réseaux ruraux une sécurité aussi grande qu'une cabine, permettent l'alimentation des plus petites communes, des hameaux, des fermes isolées, en réduisant au minimum les frais de premier établissement. En raison de ces considérations, ces appareils ont été très appréciés.

Matériel divers. — Pour être complet, il me faudrait encore citer nombre de machines diverses: motopompes électriques, appareils d'intérieur de ferme équipés électriquement, batteuses, etc., qui ne présentaient d'ailleurs rien de particulier. D'autre part, j'aurai bientôt l'occasion de les décrire en détail, car nous les retrouverons, avec beaucoup d'autres, à la prochaine exposition électrique de Compiègne. Souhaitons à cette dernière un aussi grand succès que celui remporté par la semaine d'Ondes.

Ach. DELAMARRE.

Revue, analyses et informations

Pratique de la pyrométrie (1).

On connaît le rôle de plus en plus important joué par la mesure exacte des températures élevées dans un grand nombre de branches de l'industrie : métallurgie, céramique, industrie chimique en général. Un ouvrage pratique sur la question, tout spécialement destiné aux industriels et passant en revue les diverses méthodes employées pour la mesure des températures élevées, décrivant les appareils correspondants, la manière de s'en servir, leur étalonnage, ne pourrait que rendre de grands services au public technique de plus en plus nombreux appelé à utiliser des pyromètres. On doit donc savoir gré au Bureau of Standards de Washington d'avoir consacré le n° 170, de ses « *Technology Papers* » si réputés pour le soin avec lequel ils sont toujours écrits et édités, à l'étude détaillée et pratique de la pyrométrie. Nous ne saurions trop conseiller aux industriels désireux de moderniser leurs installations et, par conséquent, d'accroître la valeur des produits qu'ils livrent au commerce, désireux notamment de substituer, aux méthodes empiriques d'appréciation des températures, les méthodes précises de la pyrométrie de consulter cette étude.

Un pyromètre ne constitue pas un appareil absolu, c'est-à-dire capable de fournir par ses seules indications la température du corps avec lequel il est en équilibre. Un pyromètre, autrement dit, n'est pas un thermomètre, au sens rigoureux du mot; c'est-à-dire qu'il n'y a aucune relation simple nécessaire entre les indications d'un pyromètre et les températures correspondantes. Il faut, d'abord, définir la température. La seule définition qui ait un sens rigoureux et précis, par conséquent indépendant de la nature particulière du corps thermométrique utilisé pour la mesure, est celle qui résulte de l'échelle thermodynamique, définie pour la première fois par Lord Kelvin. Cette échelle s'identifie avec l'échelle des températures absolues, ou, moyennant un décalage de 273° environ, avec l'échelle centésimale ordinaire. Mais il ne faut pas oublier que ces deux échelles sont pratiquement basées sur l'emploi du thermomètre à gaz (augmentation de pression de l'azote à volume constant), et que, à mesure que la température s'élève, l'échelle de ce thermomètre s'écarte de plus en plus de l'échelle thermodynamique, de façon à rendre des corrections nécessaires; ces corrections sont d'ailleurs tout à fait possibles. La réalisation pratique de l'échelle thermodynamique est donc basée sur l'emploi du thermomètre à azote, tout au moins jusqu'au voisinage de 1500°, moyennant des corrections que l'on fait subir aux indications de cet instrument.

Il semblerait, d'après cela, que l'on doive, avant de pouvoir se servir d'un pyromètre, l'étalonner par comparaison directe avec un thermomètre à gaz. Mais l'emploi du thermomètre à gaz est si laborieux, que cette méthode serait rigoureusement impraticable, et que l'on tend toujours à se servir le moins possible de cet instrument. Il en résulte que la méthode d'étalonnage des pyromètres est indirecte, ce qui n'exclut pas d'ailleurs une précision théoriquement aussi grande qu'on peut le désirer. La méthode très généralement utilisée est celle des points fixes, points fixes de fusion ou d'ébullition d'un certain nombre de corps purs. On détermine avec toute la précision voulue, et une fois pour toutes, par rapport au thermomètre à gaz, la température d'un nombre suffisant de points fixes. On fait les corrections nécessaires pour exprimer les résultats par rapport à l'échelle thermodynamique (en degrés absolus ou en degrés centésimaux, peu importe), et ce sont ces nombres, reproduits dans les diverses tables de constantes physico-

chimiques, qui vont servir de base à l'établissement de la graduation d'un pyromètre quelconque. Cette graduation se fera, en principe très simplement, de la façon suivante : le pyromètre sera mis successivement en relation avec un nombre suffisant de ces points fixes dont la température thermodynamique est connue; on notera pour chacun de ces points fixes la température et l'indication correspondante du pyromètre; enfin, on dressera une courbe, obtenue en portant en abscisses les indications du pyromètre (par exemple), et en ordonnées les températures correspondantes; il sera facile, alors, au moyen de cette courbe, et par interpolation, de graduer directement en degrés le quadrant de l'appareil. Ce qui justifie a posteriori la méthode, c'est que deux pyromètres de systèmes différents, gradués ainsi, se montrent comparables entre eux à un degré de précision élevé.

Nous nous sommes limités, dans l'exposé précédent, aux températures inférieures à 1500° C. Aux températures plus élevées, l'emploi du thermomètre à gaz devient impossible, et il faut faire appel à des phénomènes d'un autre ordre.

On sait que le rayonnement du corps noir obéit aux deux lois remarquables suivantes, dites de Stefan (1°) et de Wien (2°) : 1° l'énergie du rayonnement total est proportionnelle à la puissance quatrième de la température de l'échelle thermodynamique; 2° la longueur d'onde λ_m de la radiation qui correspond au maximum d'émission d'énergie dans le spectre est en raison inverse de la température de l'échelle thermodynamique.

Ces lois reposent sur l'application au corps noir des principes de la thermodynamique; elles ont, d'autre part, été vérifiées expérimentalement dans le domaine des températures accessibles à la mesure directe, avec un degré de précision très élevé. Leur caractère de certitude est donc quasi absolu, et elles constituent une base très solide pour la mesure des températures supérieures à 1500° et, par conséquent, pour l'étalonnage de pyromètres convenablement choisis à des températures comprises entre 1000° et 3500°.

Ici encore, chaque industriel ne saurait étalonner directement son appareil par rapport au corps noir soit par mesure de l'énergie totale qu'il émet, soit par celle de λ_m . Le procédé indirect des points fixes, déterminés encore ici une fois pour toutes dans des laboratoires spécialement outillés dans ce but, permettra à l'industriel ou au constructeur de pyromètres, de prolonger au delà de 1500° la graduation de l'appareil, en se servant de la méthode graphique exposée plus haut.

Ces généralités, qui s'appliquent indifféremment à tous les systèmes de pyromètres, étant posées, nous allons maintenant passer en revue les principaux types de modèles en usage.

On peut diviser l'ensemble des pyromètres existant en trois grandes catégories : les pyromètres thermoélectriques; les pyromètres optiques; les pyromètres à résistance.

I. PYROMÈTRES THERMOÉLECTRIQUES. — Le principe de la méthode est le suivant : Un circuit est formé de deux métaux différents soudés bout à bout; si l'une des soudures est à une température fixe (température d'un thermostat à glace fondante, ou plus grossièrement, température ordinaire), le circuit est le siège d'une force électromotrice dès que l'autre soudure est à une température différente; cette force électromotrice est d'ailleurs une fonction déterminée de la température de la deuxième soudure. En fait, la nécessité d'un appareil de mesure de la force électromotrice entraîne l'existence dans le circuit de plus de deux métaux. Mais on peut montrer que l'insertion dans le circuit d'un troisième conducteur, ne produit pas d'effet sur la force électromotrice totale si les deux extrémités de ce conducteur sont à la même température.

(1) P.-D. FOOTE, C.-O. FAIRCHILD et T.-R. HARRISON. *Technology Papers*, n° 170, 16 février 1921, 326 pages, 185 figures.

Il convient de remarquer que les forces électromotrices développées par les thermocouples sont petites, environ quelques millièmes de volt. Pour des mesures précises, il convient donc d'employer des types spéciaux de voltmètres donnant une grande sensibilité.

En somme, un pyromètre thermoélectrique comprend trois parties : a) Le thermocouple de deux métaux ou alliages différents, qui sont fondus ensemble à la soudure chaude; cette soudure est introduite dans le four, tandis que les soudures froides, qui sont en dehors du four, sont maintenus à une température fixe : soit celle du laboratoire, soit mieux la température de fusion de la glace ; b) deux fils conducteurs, généralement en cuivre, qui vont des soudures froides du thermocouple à l'indicateur de force électromotrice ; c) l'indicateur, qui peut être un millivoltmètre, un potentiomètre, ou un type spécial d'instrument résultant de la combinaison des principes des deux précédents, et qui peut être gradué de façon à permettre la lecture, soit de la force électromotrice, soit de la température, soit de l'une et de l'autre.

Quoiqu'en principe un thermocouple puisse être constitué par deux métaux différents quelconques, en fait certaines combinaisons sont à rejeter à cause des très faibles forces électromotrices qu'elles sont capables de produire, ou parce qu'elles donnent lieu à une force électromotrice croissante, puis décroissante, puis nulle, et enfin changeant de signe, à mesure que la température s'élève. Il est clair qu'un thermocouple doit remplir les conditions suivantes :

1° Il doit être capable de résister à la corrosion et à l'oxydation ;

2° Il doit donner lieu à des forces électromotrices relativement grandes ;

3° Lorsque la température croît constamment dans le domaine des températures à mesurer, la force électromotrice doit croître de façon continue.

Aux Etats-Unis, on emploie pour les températures de plus en plus élevées plusieurs types différents de thermocouples. Jusqu'à 360° C pour une extrême précision, ou jusqu'à 500° C pour une précision de 5 à 10° C, le couple peut être formé d'un fil de cuivre et d'un fil de constantan. Au-dessous de 900° C, on peut se servir des couples fer-constantan ou nichrome-constantan. Pour les mesures allant jusqu'à 1100° C, des alliages spéciaux de chrome-nickel et d'aluminium-nickel, désignés par les termes de *chromel-alumel* et *nichrome-alumel* sont très satisfaisants, même en service continu. Pour le domaine 3000-1500° C, il faut employer le couple Le Châtelier qui est constitué par un fil de platine, et un fil d'un alliage contenant 90 pour 100 de platine et 10 pour 100 de rhodium. On n'a pu obtenir jusqu'à présent de couples satisfaisants pour des températures supérieures à 1500° C. Il y a plusieurs métaux et de nombreux alliages qui fondent à des températures bien plus élevées, mais tous sont sujets à de sérieux inconvénients qui les rendent inaptes à cet emploi industriel. Par exemple, l'iridium et l'alliage à 90 pour 100 d'iridium et 10 pour 100 de ruthénium peut servir jusqu'à 2000° C, mais ce couple est d'un prix prohibitif ; il est si fragile qu'il se casse à la moindre vibration et, d'autre part l'iridium se volatilise rapidement même à 1200° C. De même, le couple tungstène-molybdène pourrait servir jusqu'à 2500° C, mais ces deux métaux s'oxydent si facilement qu'il faut employer l'hydrogène et apporter beaucoup de soins, pour empêcher cette oxydation. Peut-être pourrait-on remédier à cet inconvénient en alliant le tungstène à un autre métal, comme l'aluminium ou le chrome.

Une autre condition essentielle est la constance de la graduation des thermocouples. Cette constance peut être troublée par diverses causes. Il peut se produire des hétérogénéités locales du fait de contaminations possibles par les fumées du four, par les vapeurs métalliques, par oxydation. On prévient d'ordinaire ces actions par l'emploi de tubes protecteurs appropriés entourant le couple.

Au reste, dans tous les cas, il est prudent de vérifier fréquemment la graduation des thermocouples.

II. PYROMÈTRES A RAYONNEMENT. — On peut obtenir la température d'un corps en mesurant l'intensité de l'énergie radiante qu'il émet. Cette mesure peut soit se rapporter à l'ensemble des ondes lumineuses rayonnées par le corps, soit, s'il est incandescent, se limiter à la lumière visible, ou même à une portion plus ou moins étroite du spectre visible. Toutefois, en général, l'intensité des radiations dépend non seulement de la température de la source, mais encore de la nature particulière de la substance qui la constitue. Ainsi, le carbone incandescent paraît à l'œil environ trois fois plus brillant que le platine incandescent à la même température. Ceci s'exprime en disant que le pouvoir émissif du carbone est environ le triple de celui du platine. On appelle *corps noir* celui dont le pouvoir émissif est théoriquement maximum. En général, on assigne la valeur 1 au pouvoir émissif du corps noir. Les autres corps auront donc tous un pouvoir émissif inférieur à l'unité. On réalise expérimentalement un corps noir en chauffant uniformément une enceinte creuse, et observant les radiations provenant d'une petite ouverture percée dans sa paroi. L'intensité des radiations émises par cette ouverture ne dépend que de la température des parois et non de la substance qui les constitue. Si E est le pouvoir émissif d'une substance non transparente et R son pouvoir réflecteur, on peut montrer que $E + R = 1$. Par exemple, si une substance a un pouvoir émissif de 0,40, son pouvoir réflecteur sera de 0,60. Placée à l'intérieur du corps noir, elle sera indiscernable du milieu environnant et l'intensité totale de la radiation qui émane de la substance sera la même que celle de la radiation du corps noir ; c'est la réflexion par le corps des 60 pour 100 de la lumière incidente provenant des parois du corps noir, qui produit ce résultat. Au contraire, si le corps est placé à l'air libre, il n'y a plus de lumière réfléchie, et l'éclat du corps n'est plus que les 40 pour 100 de celui du corps noir à la même température. Les pyromètres optiques sont d'ordinaire gradués de façon à donner la valeur correcte de la température lorsqu'ils sont braqués sur un corps noir ; fort heureusement, un grand nombre d'opérations techniques sont menées dans des conditions qui correspondent à la réalisation du corps noir : les fours à moufle, beaucoup de fours à recuire, etc., sont des approximations suffisantes du corps noir pour donner des lectures de température pratiquement correctes avec les pyromètres optiques. Même à l'air libre, quelques substances sont presque noires, c'est-à-dire ont un pouvoir émissif presque égal à 1 ; c'est ce qui arrive, par exemple, pour l'oxyde qui se forme sur les pièces de fer ou d'acier incandescentes. En général, cependant, il faut appliquer des corrections aux lectures pyrométriques pour obtenir la température correcte des corps placés à l'air libre. Ces corrections sont considérables dans le cas des métaux fondus à surface nette. La présence d'une couche d'oxyde sur la surface du métal fondu réduit au contraire les corrections dans une forte proportion. Il faut ajouter que, pour suivre ou contrôler une opération industrielle déterminée, il n'est pas toujours nécessaire de corriger les lectures faites au pyromètre. Les lectures réelles au pyromètre, quoique toujours trop basses, constitueront cependant de précieux points de repère, car elles seront toujours trop basses de la même quantité pour toutes les opérations de même nature que l'on pourra désirer suivre exactement. La température *apparente* rendra ici les mêmes services que la température *vraie* dans d'autres cas.

La définition de l'échelle de température des pyromètres à rayonnement dépend du principe sur lequel est basé le fonctionnement de l'appareil. Les pyromètres *optiques* sont basés sur la loi de Wien ; les pyromètres à *rayonnement* proprement dits fonctionnent sur la base de la loi de Stefan.

1° Considérons d'abord l'échelle des pyromètres optiques. La loi de Wien, relative à la distribution de l'énergie dans le spectre du corps noir, s'exprime par l'équation suivante

$$h = C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}, \quad (1)$$

dans laquelle I_λ est l'intensité des rayons de longueur d'onde ; λ , la longueur d'onde, en microns ; C_1 , une constante qui s'éliminera dans ce qui va suivre ; C_2 , une deuxième constante égale à 14350 microns-degré ; θ , la température absolue. Une équation analogue répond au cas d'un corps non noir

$$I_\lambda = C_1 E_\lambda \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda \theta}} = C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda S_\lambda}}, \quad (2)$$

pour laquelle E_λ est le pouvoir émissif du corps considéré ; I_λ , l'intensité des rayons de longueur d'onde λ ; S_λ , la température apparente en degrés absolus du corps noir.

On tire de cette équation (2), en prenant les logarithmes vulgaires.

$$\frac{1}{\theta} - \frac{1}{S_\lambda} = \frac{\lambda \log E_\lambda}{0,4343 C_2} = \frac{\lambda \log E_\lambda}{6232}. \quad (3)$$

Ainsi, connaissant λ et E_λ , il est toujours possible d'obtenir la vraie température θ à partir de la température apparente observée S_λ .

Un pyromètre optique n'est, en définitive, qu'une sorte de photomètre employant de la lumière monochromatique (rouge d'ordinaire), et dans lequel l'intensité d'un étalon ou d'une source constante (lampe électrique, flamme, etc.) est comparée avec celle de l'objet dont on veut la température. Fréquemment, on égalise les deux intensités par ajustement de divers types de dispositifs absorbants (verres absorbants, diaphragmes iris, etc.), interposés soit du côté four ou du côté lampe du pyromètre, selon que l'une ou l'autre source est la plus brillante. Dans cette méthode de comparaison, le terme $C_1 \lambda^{-5}$ de l'équation (1) est incorporé parmi les constantes de l'instrument, qui sont déterminées par étalonnage.

2° L'échelle du pyromètre à radiation proprement dit est basée sur la loi de Stefan-Boltzmann, qui exprime la relation existant entre l'énergie totale I , rayonnée dans l'unité de temps par l'unité de surface d'un corps noir, et sa température absolue θ

$$I = \sigma (\theta^4 - \theta_0^4), \quad (4)$$

θ_0 étant la température absolue du milieu environnant, ou de l'instrument de mesure qui reçoit la radiation et σ , une constante empirique.

En général, θ_0^4 est négligeable par rapport à θ^4 , de sorte que la précédente relation peut s'écrire plus simplement

$$I = \sigma \theta^4. \quad (5)$$

Pour un corps non noir, on a de même

$$I' = \sigma E \theta^4 = \sigma S^4, \quad (6)$$

en désignant par E le pouvoir émissif total du corps et par S , la température absolue apparente de l'objet examiné, mesurée avec le pyromètre à radiation.

On peut tirer de (6)

$$E = \frac{S^4}{\theta^4} \quad \text{ou} \quad \log E = 4 (\log S - \log \theta). \quad (7)$$

Ainsi, connaissant le pouvoir émissif total d'une substance quelconque, il est possible d'obtenir sa température vraie θ au moyen de la température apparente S , indiquée par le pyromètre à rayonnement.

Pyromètre optique de Féry. — La figure 1 permet de comprendre le principe de cet appareil. Une partie du champ est éclairée par la source à étudier, le reste reçoit la lumière d'une lampe à essence L, dont l'éclat est maintenu constant. En déplaçant les prismes de verre absorbant pp', on peut faire varier l'épaisseur de ce verre interposé, jusqu'à ce que la partie du champ éclairée par la source ait le même éclairement que l'autre portion.

L'oculaire comporte un verre rouge, qui permet de réaliser l'égalité d'éclairement pour des radiations sensiblement monochromatiques.

La relation qui existe entre l'épaisseur x de verre absor-

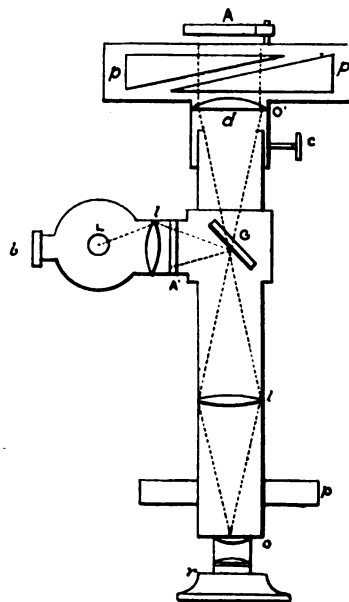


Fig. 1. — Pyromètre optique de Féry.

bant traversée par la lumière et lue sur une échelle et la température absolue θ est donnée par la relation

$$x - P = -\frac{Q}{\theta},$$

P et Q sont des constantes positives déterminables par deux opérations d'étalonnage.

Pyromètre optique de Wanner. — On voit, figure 2, la disposition de la partie optique du pyromètre de Wanner.

La source de comparaison est une lampe à incandescence

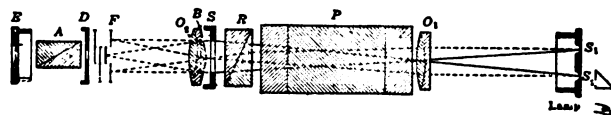


Fig. 2. — Pyromètre optique de Wanner.

de 6 v qui éclaire une surface mate de verre faisant face à la fente S_2 . La fente S_1 est tournée vers la source à étudier. La lumière de chaque fente traverse la lentille collimatrice O_1 , le spectroscopie à vision directe P , un prisme de Wollaston R , un biprisme B , la seconde lentille collimatrice O_2 et converge dans le plan F . Le prisme de Wollaston produit deux images de chaque fente, dont les lumières sont polarisées à angle droit. Le biprisme double à nouveau le nombre des images, de sorte que l'on obtient finalement, dans le plan F , quatre images de chaque fente.

Six de ces images sont arrêtées par un diaphragme D . Les deux images restantes, une de chaque fente, sont superposées et polarisées à angle droit l'une par rapport à l'autre. La lumière traverse alors le nicol A et l'oculaire E . Le spectroscopie à vision directe est réglé de façon à laisser passer seulement la lumière rouge de longueur d'onde $\lambda = 0,65 \mu$.

L'oculaire est mis au point sur l'arête du biprisme B et l'œil perçoit un champ photométrique circulaire, dont une moitié est éclairée par S_1 et l'autre par S_2 . En tournant le nicol A, l'une des moitiés augmente d'intensité, l'autre diminue, et on fait la lecture lors de l'égalité. On a réglé au préalable l'intensité du courant qui passe dans la lampe de comparaison, par l'observation à travers l'instrument d'un étalon photométrique bien déterminé.

L'étalonnage de l'instrument résulte de l'emploi de l'équation

$$\log \lg \varphi = a - \frac{b}{\theta},$$

pour laquelle φ représente l'angle lu sur la graduation du nicol; θ , la température absolue; a et b , des constantes positives empiriques.

Cet instrument donne des résultats satisfaisants au-dessus de 900°C.

Pyromètre optique à filament disparaissant. — La forme actuelle de cet appareil est représentée par les figures 3 et 4. Le filament d'une petite lampe électrique F est placé au

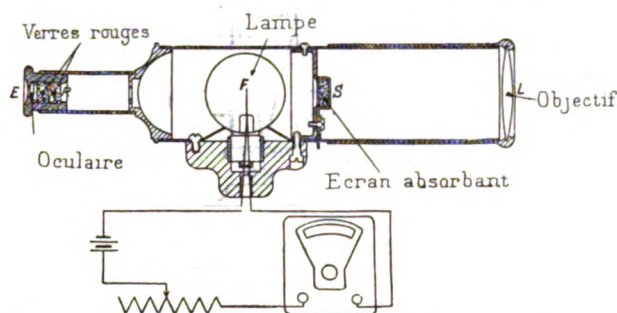


Fig. 3. — Systèmes optiques et circuit électrique du pyromètre à filament disparaissant.

foyer d'un objectif L, qui, d'autre part, superpose à l'image de la lampe celle de la source à étudier. L'objectif L forme avec l'oculaire E une petite lunette astronomique; l'oculaire com-



Fig. 4. — Pyromètre optique à filament disparaissant, vue extérieure.

porte un verre rouge, ce qui permet d'opérer en lumière à peu près monochromatique. On règle, au moyen d'un rhéostat, l'intensité du courant qui passe dans la lampe, jusqu'à ce que l'éclat du filament soit le même que celui de la source. Le

filament disparaît alors sur le fond de la source. La relation empirique entre l'intensité du courant et la température en degrés centigrades est de la forme

$$i = a + bt + ct^2,$$

où a , b et c sont des constantes que l'on détermine au préalable.

Pyromètres à rayonnement. — L'avantage des pyromètres à rayonnement sur les précédents est qu'ils utilisent pour la mesure la totalité de l'énergie du spectre. En principe, dans ces appareils l'énergie radiante vient converger sur la soudure chaude d'un petit thermocouple. La température à laquelle est portée cette soudure s'élève à peu près proportionnellement à la quantité d'énergie tombant sur elle, et cette quantité d'énergie, de son côté, est, d'après la loi de Stefan-Boltzmann, proportionnelle à la puissance quatrième de la température absolue de la source. L'élévation de température de la soudure chaude du thermocouple produit une force électromotrice thermoélectrique que l'on mesure. L'étalonnage d'un tel pyromètre repose donc sur la relation qui existe entre la force électromotrice produite et la température de la source examinée. Cette relation est conforme à l'équation $e = at^b$, où t est la température absolue de la source; e , la force électromotrice créée dans l'instrument; a et b , des constantes empiriques déterminées par deux expériences d'étalonnage. La force électromotrice est mesurée par les méthodes usuelles, mais bien entendu dans des conditions de haute sensibilité.

III. PYROMÈTRES À RÉSISTANCE. — Le principe de ces appareils est bien connu : la résistance des divers conducteurs est, en général, fonction de leur température. Si cette fonction est connue, on pourra déduire de la mesure de la résistance la température correspondante. On peut penser qu'un coefficient de température élevé est de première importance pour avoir de la sensibilité. Certains oxydes possèdent cette propriété; ils ont à la température ordinaire une résistance 100 000 fois à 1 000 000 de fois supérieure à celle qu'ils possèdent à 1000°C. Pourtant, la résistance d'un conducteur convenablement monté peut être mesurée sans peine avec une telle exactitude, que la considération d'un coefficient de température élevé a été rarement le facteur déterminant du choix du corps pyrométrique. La propriété vraiment fondamentale est la constance de la résistance (pour des conditions données) et la précision avec laquelle elle peut être reproduite. Il est également commode que la relation entre la résistance et la température soit simple. Le platine pur répond à ces conditions jusqu'à environ 1100°C. On peut alors obtenir une précision de l'ordre de 0,1° pour une mesure à 1000°.

La relation entre la température t en degrés C et la résistance r_t est alors de la forme

$$r_t = a + bt + ct^2,$$

où a , b et c sont trois constantes à déterminer par trois opérations d'étalonnage.

L'ouvrage s'étend ensuite sur un certain nombre de questions présentant un intérêt d'ordre moins général que ce qui précède, et que nous nous bornerons à citer : les pyromètres enregistreurs; le contrôle des hautes températures; les méthodes de détermination des points de fusion à température élevée; l'étalonnage des pyromètres; les applications industrielles de la pyrométrie : les industries du verre, du ciment, les industries céramiques, le traitement des sous-produits du coke et la fabrication de l'acier. — L. B.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Importations et exportations françaises

de matériel électrique, produits électrométallurgiques et électrochimiques.

Le tableau I nous démontre pour le mois de janvier 1922 une supériorité de l'exportation française sur l'im- portation étrangère : elle a porté sur un poids d'environ 1 000 quintaux et une valeur d'environ 4 millions

Tableau I. — Matériel électrique.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR JANVIER 1920, 1921 ET 1922.

| PAGES DES DOCUMENTS OFFICIELS | DÉSIGNATIONS | QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES | | | VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------|--------|--------|--------|-------|
| | | 1922 | 1921 | 1920 | 1922 | 1921 | 1920 | | |
| | | | | | | | | | |
| 103 | IMPORTATIONS | I. Machines dynamo-électriques | pesant 1 000 kg et plus..... | 3 148 | 2 469 | 2 087 | 1 943 | 1 412 | 2 087 |
| | | | — 50 kg et moins de 1 000 kg..... | 422 | 2 654 | 798 | 531 | 3 954 | 958 |
| | | | — moins de 50 kg..... | 205 | 233 | 376 | 454 | 744 | 639 |
| 104 | | II. Appareils électriques et électrotechniques | avec enroulement de fil métal. isolé..... | 570 | 995 | 373 | 1 345 | 2 159 | 2 611 |
| 89 | | III. Bâtis et carcasses de dynamos et moteurs électriques..... | sans enroulement..... | 255 | 691 | 309 | 634 | 1 849 | 1 298 |
| | | IV. Lampes électriques | dynamos et moteurs électriques..... | 44 | 1 070 | 7 | 22 | 221 | 3 |
| | | | à filament de charbon, avec monture..... | | 12 | | | 120 | |
| | | | à filament métallique, id..... | 182 | 304 | 309 | 1 133 | 2 755 | 3 390 |
| | | | à incandescence sans monture..... | 5 | 6 | | 72 | 86 | |
| 104 | | V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier.... | | 8 | 3 | | 17 | 6 | |
| 86 | | VI. Charbons préparés pour usages industriels..... | | 63 | 376 | 81 | 36 | 349 | 65 |
| 104 | | VII. Fils et câbles isolés pour l'électricité..... | | 187 | 596 | 106 | 70 | 1 184 | 106 |
| 104 | VIII. Induits de machines dynamo-électriques et pièces détachées pour appareils électriques..... | | 434 | 505 | 225 | 578 | 2 216 | 675 | |
| 104 | IX. Aimants autres que les électro-aimants..... | | | 23 | | | 17 | | |
| 107 | X. Accumulateurs et pièces détachées..... | | 141 | 361 | 9 | 65 | 86 | 5 | |
| 107 | XI. Piles sèches..... | | 17 | 14 | 35 | 15 | 28 | 30 | |
| 88 | XII. a) Pièces pour l'électricité, en porcelaine, faïence, grès, isolateurs et autres..... | | 885 | 1 136 | 1 164 | 270 | 448 | 636 | |
| 89 | b) Pièces en verre, pour l'électricité..... | | 27 | | | 22 | | | |
| | | | 6 603 | 11 448 | 5 879 | 7 207 | 17 604 | 12 503 | |
| <i>Exportation de matériel électrique fabriqué en France ou françaisé après transformation</i> | | | | | | | | | |
| 177 | EXPORTATIONS | I. Dynamos et transformateurs..... | | 1 396 | 2 369 | 1 088 | 1 396 | 2 369 | 1 578 |
| 178 | | II. Appareils électriques et électrotechniques..... | | 1 763 | 2 978 | 1 115 | 5 642 | 9 530 | 4 995 |
| | | III. Bâtis et carcasses de dynamos et de moteurs électriques..... | | 6 | 30 | | 2 | 9 | |
| 162 | | IV. Lampes à incandescence..... | | 145 | 197 | 4 | 696 | 940 | 290 |
| 178 | | V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier.... | | 1 | 4 | 7 | 1 | 5 | 12 |
| 159 | | VI. Charbons préparés pour usages industriels..... | | 1 019 | 2 203 | 1 906 | 734 | 1 586 | 1 715 |
| 178 | | VII. Fils et câbles isolés pour l'électricité..... | | 1 388 | 3 124 | 953 | 1 249 | 2 812 | 858 |
| | | VIII. Induits de dynamos et pièces pour appareils électriques..... | | 325 | 629 | 245 | 644 | 1 245 | 728 |
| | | IX. Aimants autres que les électro-aimants..... | | | 14 | 2 | | 11 | 2 |
| 180 | | X. Accumulateurs électriques et pièces détachées..... | | 672 | 388 | 350 | 457 | 264 | 268 |
| 161 | | XI. Piles sèches..... | | 125 | 248 | 218 | 60 | 119 | 148 |
| 162 | | XII. a) Pièces pour l'électricité, en porcelaine, faïence, grès, blanc ou de couleur, isolateurs et autres..... | | 624 | 511 | 282 | 274 | 223 | 133 |
| | b) Pièces en verre, pour l'électricité..... | | 233 | 380 | 2 | 61 | 100 | 1 | |
| | | | 7 697 | 13 075 | 6 172 | 11 216 | 19 219 | 10 728 | |

de francs. Cette supériorité a porté surtout sur les *appareils électriques et électrotechniques*, les *fils et câbles*, les *charbons préparés*, les *accumulateurs*, la *verrerie*.

Quant à l'importation, les principaux articles qui ont contribué à sa supériorité sur l'exportation ont été les *dynamos* et les *lampes électriques à incandescence*.

En général, le mouvement d'affaires durant le mois en référence s'est sensiblement ralenti, qu'il s'agisse de l'exportation ou de l'importation.

Si nous examinons le tableau II, nous remarquons une supériorité générale de l'importation d'environ 8 292 quintaux pour une valeur de 214 000 fr, consistant surtout en *nitrate de calcium* et *cyanamide cal-*

TABLEAU A. — Indices de supériorité de quelques articles d'importation étrangère de matériel électrique sur l'exportation française pour janvier 1922.

| ARTICLES | SUPÉRIORITÉ DES IMPORTATIONS | | OBSERVATIONS |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | en valeur | en poids | |
| | francs | quintaux | |
| I | 1 532 000 | 2 379 | <i>Dynamos.</i> — Il y a eu pour ce mois décroissance aussi bien des importations que des exportations, mais elle a été plus sensible pour les importations qui, d'une d'une année sur l'autre, ont diminué de 3 182 000 francs et de 1 581 quintaux. <i>Lampes à incandescence.</i> — Même constatation pour cette article que pour le précédent. <i>Induits de dynamos et pièces accessoires.</i> — Si le poids des importations a été inférieur, la valeur des exportations a été supérieure de 66 000 francs. <i>Pièces céramiques et isolateurs.</i> — Si le poids des importations a été inférieur, la valeur des exportations a été supérieure de 4 000 francs. |
| IV | 509 000 | 42 | |
| VIII | | 109 | |
| XII a) | | 261 | |
| | 2 041 000 | 2 791 | |
| Supériorité relative des importations pour le mois de janvier 1922. | | | |

cique et en *ferro-manganèse*. Quant à l'exportation, elle a prévalu pour le *carbure de calcium*, le *ferro-silicium* et l'*aluminium*.

Mais, en résumé, nous pouvons constater avec regret que, comme pour le matériel électrique, il y a eu une réduction notable pour le mois en référence, tant à l'exportation qu'à l'importation, pour les produits électrométallurgiques et électrochimiques.

CONCLUSION. — Malgré les constatations ci-dessus quelque peu défavorables, il faut toujours tenir compte de la crise économique mondiale qui continuait à sévir, et aussi des perspectives menaçantes qu'en février dernier, date de la publication des statistiques officielles douanières citées plus haut, inspiraient les débuts de la Conférence internationale de Gènes. Mais en regard de ces circonstances, il faut se garder de passer

TABLEAU B. — Indices de supériorité de quelques articles d'exportation française de matériel électrique sur l'importation étrangère pour janvier 1922.

| ARTICLES | SUPÉRIORITÉ DES EXPORTATIONS | | OBSERVATIONS |
|----------|------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | en valeur | en poids | |
| | francs | quintaux | |
| VII | 1 179 000 | 1 201 | <i>Fils et câbles isolés.</i> — Les exportations et importations ont diminué à peu près dans les mêmes proportions. <i>Charbons préparés.</i> — Même observation pour cet article que pour le précédent <i>Appareils électriques et électrotechniques.</i> — Les exportations ont déchu d'environ 4 millions de francs et les importations de 2 millions. <i>Verrerie électrique.</i> — Les exportations ont diminué légèrement. <i>Accumulateurs et pièces détachées.</i> — Les exportations ont augmenté de 193 000 fr et les importations ont diminué légèrement. |
| VI | 698 000 | 956 | |
| II | 3 663 000 | 948 | |
| XII b) | 39 000 | 206 | |
| X | 392 000 | 531 | |
| | 5 971 000 | 3 842 | Supériorité relative des exportations pour janvier 1922. |

sous silence certains détails qui permettent d'envisager pour l'exportation française un avenir favorable : ainsi, par exemple, chaque jour s'accroît l'importance de la production par l'industrie française de la porcelaine électrotechnique, de nombreux appareils céramiques utilisés pour la distribution du courant électrique, tels que bougies d'allumage, isolateurs variés pour haute et basse tension, etc. Cette branche de l'industrie fran-

çaise est appelée à jouer un rôle capital dans notre exportation ainsi du reste que d'autres branches de l'industrie électrique. Le conseiller de la légation de Pologne à Paris ne disait-il pas tout récemment, dans une interview de presse, que son pays pouvait importer beaucoup de produits français, entre autres, des produits de l'industrie électrique. Voilà donc des indices d'exportation française immédiate. Quant aux perspec-

Tableau II. — Produits électrométallurgiques et électrochimiques.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR JANVIER 1922-1921-1920.

| PAGES DES DOCUMENTS OFFICIELS | DÉSIGNATION | QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES | | | VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|
| | | 1922 | 1921 | 1920 | 1922 | 1921 | 1920 | | |
| | | | | | | | | | |
| 67 | IMPORTATIONS | I. Aluminium | { en lingots ou déchets..... | 4 | 1 517 | | 1 371 | | |
| | | | { battu, tiré, laminé, filé ou en poudre..... | 71 | 103 | 50 | 134 | 136 | 58 |
| | | | | 6 518 | 1 208 | 1 757 | 375 | 482 | 369 |
| | | II. Ferro-alliages | { ferro-manganèse..... | 365 | 495 | | 14 | 39 | |
| | | | { ferro-silicium..... | 732 | 64 | 275 | 170 | 6 | 30 |
| | | | { autres..... | 399 | 1 494 | 2 618 | 54 | 152 | 267 |
| 70 | | III. Carbure de calcium..... | | 7 587 | 16 246 | 475 | | 1 495 | |
| 82 | | IV. Nitrate de calcium et cyanamide calcique..... | | 15 676 | 4 881 | 20 946 | 1 222 | 2 186 | 2 219 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| <i>Exportation de produits fabriqués en France ou francisés après transformation</i> | | | | | | | | | |
| 140 | EXPORTATIONS | I. Aluminium | { en lingots ou déchets..... | 101 | 31 | 707 | 46 | 14 | 601 |
| | | | { battu, tiré, laminé, filé ou en poudre..... | 85 | 342 | 640 | 68 | 274 | 736 |
| | | | | 853 | 2 488 | 6 718 | 167 | 473 | 1 411 |
| | | II. Ferro-alliages | { ferro-manganèse..... | 1 885 | 4 496 | 2 636 | 151 | 360 | 316 |
| | | | { ferro-silicium..... | 1 688 | 1 600 | 1 418 | 135 | 128 | 156 |
| | | | { autres..... | 2 218 | 4 499 | 2 521 | 277 | 562 | 257 |
| 143 | | III. Carbure de calcium..... | | 554 | 218 | 250 | 35 | 14 | 23 |
| 156 | | IV. Nitrate de calcium et cyanamide calcique..... | | 7 384 | 13 674 | 14 890 | 834 | 1 826 | 3 500 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

TABLEAU C. — Indices du mouvement d'échanges internationaux des principales matières premières électrométallurgiques et électrochimiques pour janvier 1922 et 1921.

| DÉSIGNATION | SUPÉRIORITÉ EN 1922 DE L'IMPORTATION SUR L'EXPORTATION | | AUGMENTATION DES IMPORTATIONS DE 1922 SUR 1921 | | DIMINUTION DES IMPORTATIONS DE 1922 SUR 1921 | | SUPÉRIORITÉ EN 1922 DE L'EXPORTATION SUR L'IMPORTATION | | AUGMENTATION DES EXPORTATIONS DE 1922 SUR 1921 | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------|-----------|
| | en poids | en valeur | en poids | en valeur | en poids | en valeur | en poids | en valeur | en poids | en valeur |
| | quintaux | francs | quintaux | francs | quintaux | francs | quintaux | francs | quintaux | francs |
| I. Aluminium : en lingots, déchets et demi-ouvré.. | | | | | 1 545 | 1 371 000 | 111 | 114 000 | | |
| II. a) Ferro-man- ganèse..... | 5 665 | 213 000 | 4 815 | | | 107 000 | | | | |
| b) Ferro-sili- cium..... | | | | | 130 | 25 000 | 1 520 | 137 000 | | |
| c) Autres ferro- alliages..... | | 35 000 | 668 | 164 000 | | | 956 | | | |
| III. Carbure de cal- cium..... | | | | | 1 095 | 98 000 | 1 819 | 223 000 | | |
| IV. Nitrate de calcium et cyanamide calcique..... | 7 033 | 440 000 | 7 587 | 475 000 | | | | | 336 | 21 000 |
| | 12 698 | 688 000 | 13 070 | 639 000 | 2 770 | 1 601 000 | 4 406 | 474 000 | 336 | 21 000 |

tives de production plus éloignées, qu'il ne faut pourtant pas négliger, ne pourrait-on pas d'ores et déjà signaler à l'attention de nos savants la recherche patiente dans leurs laboratoires de la composition des

atomes, parallèlement à celle poursuivie par sir Ernest Rutherford : le grand savant anglais a bien réussi à désintégrer le noyau hélium de l'atome composé d'hydrogène et d'électrons, mais il n'a pu encore se

rendre un compte exact ni de l'arrangement des parcelles composant le noyau, ni des forces opérantes qui le constituent.

A la science française incombe la tâche ardue de se consacrer aussi à ces recherches et de découvrir éventuellement une nouvelle matière première susceptible

de révolutionner l'industrie électrochimique et de donner ainsi un nouvel aliment à l'expansion française au dehors.

Désiré PECTOR,
Conseiller honoraire du Commerce extérieur.

Assemblées générales

Energie électrique de la Basse-Loire.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 31 MARS 1922.

Les recettes de vente du courant se sont élevées à 6 747 982,58 fr pour les réseaux alimentés par l'usine centrale de Penhoët, et à 253 117,20 fr pour les réseaux isolés, soit au total 7 001 099,78 fr.

Les dépenses d'exploitation se sont élevées à 6 572 417,02 fr pour les réseaux alimentés par l'usine centrale de Penhoët, et à 295 290,14 fr pour les réseaux isolés, soit au total 6 867 707,16 fr.

Les ventes de courant laissent donc un bénéfice brut de 1 339 262,62 fr contre une perte de 176 536,25 fr l'année précédente.

Par contre, les bénéfices sur travaux d'installation, recettes et opérations diverses, n'ont été que de 79 912,09 fr contre 314 336,32 fr pour l'exercice 1920, qui avait bénéficié d'opérations exceptionnelles.

Les bénéfices bruts d'exploitation ont, en conséquence, passé de 137 800,07 fr à 213 304,71 fr, auxquels il y a lieu d'ajouter le produit des intérêts sur cautionnement qui s'élèvent, comme l'année précédente, à 4 940 fr.

Mais, en raison de l'augmentation des immobilisations, les charges financières ont été sensiblement plus importantes. Elles s'élèvent, pour cette année, à 735 233,46 fr, alors qu'elles n'avaient été, l'année précédente, que de 601 384,17 fr.

Les frais généraux d'administration sont sensiblement les mêmes : 153 388,42 fr contre 148 206,24 fr l'année précédente.

L'insuffisance pour l'exercice 1921 est donc de 670 377,17 fr contre 601 210,84 fr pour l'exercice 1920.

Ce résultat est dû aux pertes d'exploitation qui se sont produites dans le premier semestre de l'exercice, pendant lequel l'usine n'a pas pu fonctionner dans des conditions normales.

La situation a commencé à se modifier sensiblement dans le courant du second semestre.

La turbine de 2 000 kw a été mise en marche vers la fin de l'année. Parallèlement, la société a continué la remise en état de la chaufferie, et procédé à l'installation d'un évaporateur dont le montage est actuellement terminé et qui sera prochainement mis en service.

Elle a commandé, à la Société Rateau, une turbine de 5 000 kw, d'un type récent et économique, qui doit être livrée et mise en marche avant le 1^{er} octobre prochain.

Dans quelques mois, la société disposera à la centrale de Saint-Nazaire tant en chaudières en bon état qu'en groupes turbo-alternateurs neufs ou en bon état, d'une puissance largement suffisante pour parer à tous les développements prévus dans la région, avec les réserves nécessaires pour assurer un entretien normal.

En ce qui concerne le réseau, elle a terminé la seconde

ligne côtière qui lui permettra d'alimenter la région qui s'étend de Saint-Nazaire au Pouliguen, et elle a commencé des pourparlers en vue de la prolongation de cette ligne jusqu'au Croisic, par le Bourg de Batz.

Elle a poursuivi ses négociations en vue de la revision de ses traités de concession et de ses accords avec les principaux clients.

Elle a renouvelé ses contrats avec les grands chantiers de construction et elle espère arriver prochainement à un accord avec la ville de Saint-Nazaire pour le réajustement de la concession aux circonstances économiques nouvelles.

Elle a mis en service les installations des principales gares de la Compagnie d'Orléans situées dans sa zone.

La société étudie la reprise de son programme d'avant-guerre, notamment en ce qui concerne l'alimentation de Redon et de la partie non encore desservie de l'arrondissement de Saint-Nazaire, pour l'électrification de laquelle elle espère trouver des concours auprès des administrations intéressées.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1921.

| Actif. | fr |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Apports..... | 200 000 » |
| Terrains et usine génératrice..... | 6 053 811,54 |
| Lignes primaires et installations divers..... | 2 122 988,63 |
| Concessions et réseaux secondaires..... | 3 230 917,93 |
| Frais généraux de mise en train et divers..... | 271 172,31 |
| Compte d'ordre (accident 31 décembre 1918)..... | 533 000 » |
| Immeuble Saint-Nazaire, 2, rue de Nantes..... | 51 794 » |
| Caisses et banques..... | 38 566,99 |
| Débiteurs divers..... | 1 288 945,71 |
| Portefeuille..... | 26 109,30 |
| Cautionnements..... | 194 250 » |
| Compteurs et matériel en location..... | 835 242,25 |
| Mobilier et outillage..... | 190 176,12 |
| Approvisionnements..... | 1 430 341,16 |
| Frais de constitution, d'émission d'actions, d'obligations et bons..... | 382 486,25 |
| Prime de remboursement obligations..... | 300 045 » |
| Prime de remboursement bons..... | 100 000 » |
| Profits et pertes : | |
| Perte sur exercice précédent..... | 728 913,53 |
| Perte sur exercice 1921..... | 670 377,17 |
| | 18 649 167,89 |

| Passif. | fr |
|-------------------------------------------|----------------------|
| Capital actions..... | 5 000 000 » |
| Réserves légales..... | 39 088,59 |
| Amortissement premier établissement..... | 162 500 » |
| Obligations 5 pour 100..... | 2 805 000 » |
| Bons 6 pour 100..... | 5 000 000 » |
| Créanciers divers..... | 5 482 101,58 |
| Coupons à payer..... | 105 477,72 |
| Part des coupons courus et non échus..... | 55 000 » |
| | 18 649 167,89 |

Les exploitations électriques.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU 4 AVRIL 1922.

Dans l'assemblée générale extraordinaire du 22 juillet 1920, les actionnaires avaient ratifié la décision prise par le Conseil d'administration d'augmenter le capital social d'une somme de 7 500 000 fr, pour le porter de 12 500 000 fr à 20 000 000 fr.

Par suite de divers remboursements et de la réalisation de certaines des participations, le Conseil a estimé qu'il n'était plus nécessaire de créer immédiatement la totalité de cette somme et qu'il suffirait, pour le moment, de ne réaliser qu'une tranche de 5 500 000 fr sur l'augmentation de capital prévue à l'article 8 des statuts; il en a décidé ainsi par délibération en date du 7 février 1922.

Les actionnaires ont été convoqués à nouveau en vue d'approuver cette décision, ainsi que les conditions d'émission des actions nouvelles.

A la suite du rapport, les actionnaires ont voté la résolution suivante :

Première résolution. — L'assemblée générale, sur la proposition du Conseil d'administration, et après avoir pris connaissance par la lecture qui lui en a été donnée de la première des résolutions prises par une assemblée générale ordinaire précédente, convoquée extraordinairement à la date du 22 juillet 1920, décide tout d'abord d'annuler purement et simplement cette résolution, voulant et entendant que celle-ci soit considérée comme nulle et non avenue.

Puis, après avoir pris connaissance par la lecture qui lui en a été également donnée, de la délibération du Conseil d'administration prise à la date du 7 février 1922, et aux termes de laquelle celui-ci a, en vertu des autorisations à lui données par l'article 8 des statuts, décidé :

Qu'il serait procédé (au lieu et place de la tranche de 7 500 000 fr ayant fait l'objet d'une de ses délibérations précédentes prise à la date du 16 décembre 1919), à la réalisation immédiate d'une troisième tranche de 5 500 000 fr seulement, de l'augmentation de capital de 15 000 000 fr, autorisée par ledit article 8 des statuts et, en conséquence, qu'il serait émis au pair 22 000 actions nouvelles de 250 fr chacune, toutes à souscrire en numéraire, qui seraient de même rang et de même catégorie que les 50 000 actions de 250 fr chacune qui forment le capital actuel de la société, qui devraient être libérées de la totalité de leur montant nominal lors de leur souscription et qui auraient jouissance, au même titre que lesdites 50 000 actions anciennes, à compter du commencement de l'exercice social en cours;

Que les anciens actionnaires auraient, dans la proportion des titres par eux possédés, un droit de préférence pour la souscription, à titre irréductible, desdites 22 000 actions nouvelles, chacun des propriétaires des actions anciennes pouvant ainsi souscrire, à ce titre, deux actions nouvelles pour cinq actions anciennes;

Que lesdits propriétaires d'actions anciennes pourraient, en outre, souscrire à titre réductible celles desdites 22 000 actions nouvelles sur lesquelles le droit de préférence à titre irréductible n'aurait pas été exercé;

Que, s'il y avait lieu à réduction, la répartition des titres disponibles se ferait dans la proportion des actions anciennes possédées par les souscripteurs à titre réductible;

Que les anciens actionnaires qui voudraient user de ce droit de préférence, tel qu'il a été spécifié, devraient, à peine de déchéance encourue, par la simple expiration du délai ci-après indiqué, exercer leur droit, en tout ou en

partie, dans les quinze jours qui suivraient l'avis qui leur en serait donné au moyen d'une insertion faite dans un des journaux d'annonces légales du Siège social et, à cet effet, faire parvenir au Siège social leur titres accompagnés de leur bulletin de souscription et de la somme de 250 fr par chaque action souscrite, soit à titre irréductible, soit à titre réductible;

Que celles desdites 22 000 actions nouvelles qui n'auraient pas été souscrites, soit à titre irréductible, soit à titre réductible, seraient souscrites au pair par tous tiers étrangers à la société;

Et que, dans le but d'assurer la souscription de la totalité desdites 22 000 actions nouvelles, le président du Conseil d'administration était autorisé à négocier auprès de tous établissements de crédit ou de tous syndicats, le placement intégral de ces actions.

L'assemblée générale, en vertu des dispositions dudit article 8 des statuts, déclare :

Approuver et ratifier purement et simplement dans tout son contenu, la délibération sus-énoncée du 7 février 1922 du Conseil d'administration, voulant et entendant que cette décision du Conseil reçoive sa pleine et entière exécution, selon sa forme et sa teneur.

Et, en tant que de besoin, elle donne tous pouvoirs au Conseil, à l'effet de :

Déterminer toutes conditions autres que celles sus-énoncées de l'émission desdites 22 000 actions nouvelles;

Recueillir les souscriptions, recevoir les versements, dresser toutes listes de ces souscriptions et tous états des versements qui seront effectués, les certifier véritables;

Faire par acte notarié toutes déclarations des souscriptions recueillies et des versements effectués sur chacune desdites 22 000 actions nouvelles ou consentir à ce sujet toutes délégations en la forme authentique.

Et, d'une façon générale, remplir toutes formalités pour arriver à la réalisation définitive de l'augmentation de capital de 5 500 000 fr dont il s'agit.

Sociedad hidroeléctrica Española.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 24 AVRIL 1921.

1. TRAVAUX EN COURS. — En raison de difficultés toutes particulières rencontrées dans l'exécution d'un barrage de 40 m pour l'aménagement d'une nouvelle chute, cette société s'est vue dans l'obligation d'opérer un changement de plan et d'effectuer la prise d'eau 9700 m plus loin qu'on ne l'avait prévu d'abord, ceci à cause de la difficulté pour trouver dans le lit de la rivière un terrain suffisamment résistant et imperméable.

Les nouveaux travaux seront probablement terminés en juin prochain.

Barrage. — Il a 160 m de long, 30 m d'épaisseur à la base et 3 m de hauteur au-dessus de la rivière. Les 45 de ce travail sont exécutés. La dérivation des eaux par le canal doit être entreprise dans le courant du mois de mai.

Canal à ciel ouvert. — Longueur, 5 416 m; terres enlevées, 286 000 m³; ce travail est terminé en totalité. Travaux de construction, 65 930 m³ dont 8 790 encore à exécuter.

Canal souterrain. — Longueur, 4 291 m; terres enlevées en premier avancement 25 746 m³, exécuté entièrement; autres travaux de terrassement 92 300 m³, dont 18 700 m³ à exécuter.

Aqueduc. — Une partie importante des travaux a été la construction d'un aqueduc pour réunir les 9707 premiers

mètres du canal, avec l'ancien tronçon situé sur l'autre rive et terminé depuis octobre. Son montage est commencé et on espère que sa construction ne prolongera pas les travaux après la date indiquée plus haut.

Canal. Deuxième partie. — Complètement terminé, il mesure 6 700 m et a nécessité 10 000 m³ en ouverture de tunnels, 6 000 m³ en revêtement de voûtes et 25 000 m³ en canal à ciel ouvert. Nous signalerons l'activité avec laquelle les travaux indiqués ont été poursuivis : le nombre des ouvriers employés à cette œuvre étant de 5 800, sans jamais descendre au-dessous de 3 500.

Centrale. — Les travaux, commencés en février, sont très avancés et seront terminés probablement un mois et demi avant les travaux hydrauliques. La conduite forcée, importante par son diamètre, est de longueur si réduite que son montage sera sans doute très rapidement effectué.

2. MARCHÉ DES INSTALLATIONS. — Tout ce qui a été dit l'année dernière au sujet de la sécheresse persistante qui a limité extraordinairement le débit des chutes d'eau et obligé à une production thermoélectrique exceptionnelle, ainsi qu'à propos des difficultés rencontrées pour obtenir une légère augmentation des tarifs, tout se retrouve exactement en ce nouvel exercice. Mais la sécheresse encore plus prononcée, l'absence d'augmentation des tarifs, les grandes difficultés de transport de charbon ont abouti cette fois à la consommation d'une grande partie des réserves en charbon, représentant une perte de 4 667 000 pesetas.

On peut penser cependant que, dès que la société sera en possession de la nouvelle chute des « Dos Aguas », elle entrera dans une nouvelle période qui se rapprochera du fonctionnement normal, tout en permettant de satisfaire les nouveaux clients.

Production et consommation. — Durant cet exercice, on a produit 141 366 150 kw-h hydrauliques et 22 082 896 kw-h thermiques, au total 163 449 046 kw-h, soit 882 581 kw-h de moins que pendant l'exercice précédent.

La consommation totale est montée à 139 911 940 kw-h, soit 120 8022 de moins qu'en 1920.

Cette diminution de production est due spécialement à l'inondation de la centrale de Villora, où l'eau dépassa 2 m dans la salle des machines. Cette inondation est due à l'obstruction du canal par du bois allant à la dérive. Un des alternateurs put être réparé en quatre semaines; l'autre réparé trois mois, puis abandonné, dut enfin être transporté à Madrid. Ce n'est qu'au bout de neuf mois que ces groupes de 6 000 kv-a purent fonctionner normalement. Cet arrêt, privant la société de 8 millions de kilowatts-heure hydrauliques, a causé en définitive un préjudice de 950 000 pesetas.

3. SITUATION ÉCONOMIQUE. — Pour faire face à ces importants travaux et à l'augmentation de l'étendue du réseau, la société a exécuté une opération de crédit avec les banques suivantes : Banco Central, Banco de Vizcaya, Banco Español, Banco de Crédito et Banco Hispano-Americano, opération que l'on espère consolider en 1922.

La Sociedad hidroeléctrica española a pris une part active dans les sociétés suivantes :

Electra del Lima. — La centrale de la chute de Lindoso et

la sous-station de Oporto fonctionnent d'une façon satisfaisante.

Dans l'émission d'obligations à 6 pour 100 de cette société, on a obtenu 4 242 obligations représentant 1 908 900 pesetas.

Union Electrica Portuguesa. — Cette société a commencé à utiliser l'énergie produite par la chute de Lindoso.

Societad Iberica de Construcciones electricas. — Avec le secours d'établissements industriels et financiers puissants et la coopération technique et économique de la « International General Electric » et de la Thomson-Houston française, on a contribué à la formation de cette société « S I C E », constituée au capital de 20 millions de pesetas et obtenu une participation de 1 400 actions de 500 pesetas nominales. Cette société a pour but principal la construction de machines électriques.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1921.

| Actif. | pesetas |
|----------------------------------------|----------------|
| En banque et en caisse..... | 313 113,47 |
| En portefeuille, en cautionnement..... | 161 779,95 |
| Actions et obligations..... | 8 228 277,20 |
| Marchandises et charbon..... | 469 122,93 |
| Centrales..... | 17 524 354,36 |
| Abonnés..... | 164 204,57 |
| Comptes courants..... | 239 429,43 |
| Chute sur le Tage..... | 1 259 014,08 |
| Etablissements..... | 58 873 914,89 |
| Dividendes à recouvrer..... | 32 625 » |
| Projets et études..... | 6 576,77 |
| Union électrique de Carthagène..... | 369 358,74 |
| Coopérative électrique de Madrid..... | 643 162,55 |
| Frais d'émission d'actions..... | 223 801,20 |
| Frais d'émission d'obligations..... | 549 873,90 |
| Effets à recevoir..... | 943 625 » |
| Valeurs nominales : | |
| Banques diverses..... | 10 814 987,55 |
| | 100 757 221,59 |

| Passif. | pesetas |
|--------------------------------------------------------|----------------|
| Capital..... | 40 000 000 » |
| Obligations (1 ^{re} émission et série A)..... | 26 370 000 » |
| Créditeurs étrangers..... | 545 121,93 |
| Fonds de réserve statutaire..... | 737 909,64 |
| Fonds de prévision..... | 100 000 » |
| Amortissement du matériel industriel..... | 4 330 900,69 |
| Intérêts d'obligations à payer..... | 679 598,84 |
| Profits et pertes..... | 809 564,78 |
| Dividendes en actifs à payer..... | 22 525 » |
| Conseil d'administration..... | 39 412,15 |
| Dividendes passifs à payer..... | 1 087 500 » |
| Obligations à rembourser..... | 245 500 » |
| Intérêts des nouvelles actions..... | 488 618,52 |
| Effets à payer..... | 13 308 000 » |
| Compte de crédit à la Banque d'Espagne..... | 1 177 582,70 |
| Valeurs nominales : | |
| En dépôt..... | 8 264 987,55 |
| Valeurs en garantie..... | 2 550 000 » |
| | 100 757 221,59 |

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Circulaire concernant les nouveaux tarifs des indemnités à payer par les concessionnaires de distribution d'énergie électrique aux compagnies de chemins de fer pour traversée ou emprunt des voies ferrées par les canalisations électriques.

Voici le texte de cette circulaire, en date du 14 mai 1922, adressée par le ministre des Travaux publics aux préfets des départements :

Une circulaire ministérielle du 5 septembre 1908 a fixé les conditions à imposer pour la traversée et l'emprunt des voies ferrées par les canalisations de distribution ou de transport d'énergie électrique, notamment en ce qui concerne les indemnités dues, en cas de traversée, par les entreprises de distribution d'énergie électrique aux concessionnaires des voies ferrées.

L'application des règles posées par cette circulaire en matière d'indemnités ayant, dans ces derniers temps, soulevé des difficultés, j'ai reconnu qu'il y avait lieu de préciser les bases du calcul de ces indemnités, tant pour les emprunts longitudinaux que pour les traversées.

D'autre part, il n'est pas douteux que le taux desdites indemnités doit être relevé, car il ne se trouve plus en rapport avec les charges nouvelles de l'exploitation des chemins de fer, la plus-value des terrains et l'importance des avantages consentis aux entreprises de distribution.

En conséquence :

A la suite de pourparlers récents avec les administrations des grands réseaux, j'ai décidé que les allocations à attribuer aux compagnies pour traversée ou emprunt longitudinal des voies ferrées seraient fixées ainsi qu'il suit :

I. TRAVERSÉES DES VOIES FERRÉES. — a) Lignes de transport ou de distribution d'énergie électrique traversant les voies ferrées et comportant l'implantation de poteaux, la pose de supports ou de conduites à installer dans les emprises du chemin de fer :

Indemnité fixe de 25 fr par an, augmentée comme suit :

1° Pour chaque poteau ou support implanté sur le domaine public du chemin de fer, 15 fr par an ;

2° Par mètre courant de câble souterrain traversant le domaine public du chemin de fer, 0,50 fr par an.

Il y a lieu de remarquer que ces taxations ne sont pas applicables aux canalisations traversant le chemin de fer sous un passage inférieur, sans avoir aucun contact avec les ouvrages du chemin de fer ; ces canalisations peuvent, en effet, aux termes de la circulaire du 30 juillet 1921, être établies sans arrêté spécial d'autorisation.

b) Lignes de transport ou de distribution d'énergie électrique ne comportant ni implantation de poteaux, ni pose de supports ou conduites à installer dans les emprises du chemin de fer :

Indemnité fixe de 25 fr par an.

II. EMPRUNT LONGITUDINAL DES VOIES FERRÉES. — 1° Pas d'indemnité fixe ;

2° Par poteau ou support implanté sur le domaine public, 15 fr par an ;

3° Par mètre courant de ligne aérienne (quel que soit le nombre de conducteurs de la ligne), 0,10 fr par an ;

Par mètre courant de câble souterrain établi dans le sol du domaine public, 0,25 par an.

Toutefois, l'indemnité totale due au chemin de fer en cas d'emprunt longitudinal ne pourra être inférieure à 25 fr.

Je vous invite, en conséquence, à faire établir sur les bases ci-dessus le chiffre de l'indemnité qui doit figurer à l'article 5 de l'arrêté dont le modèle était annexé à la circulaire ministérielle du 5 septembre 1908, qui reste en vigueur dans toutes celles de ses dispositions non modifiées par ces nouvelles instructions.

J'adresse un exemplaire de la présente circulaire à M. le directeur du Contrôle de la Voie et des Bâtiments et à MM. les ingénieurs en chef du Contrôle des Distributions d'Energie électrique.

Jugement du Tribunal civil de Rouen concernant la taxe sur les importations.

La taxe sur les importations est-elle de 1 pour 100 du prix des objets importés ou bien est-elle, comme la taxe sur le chiffre d'affaires, de 1,10 pour 100 ?

Cette question s'est trouvée posée devant le Tribunal civil de Rouen dans une demande de la Société Jules Roy en restitution d'un trop perçu par l'Administration des Douanes. Dans son jugement le Tribunal a conclu que la taxe est de 1 pour 100 et non 1,10 pour 100.

Voici quelques-uns des attendus de ce jugement :

Attendu qu'en droit la loi précitée du 25 juin 1920, portant création de nouvelles ressources fiscales, a institué en son article 59 un impôt sur le chiffre des affaires faites en France ;

Que l'article 63 dispose que le taux de l'impôt est fixé à 1 fr pour 100 avec un décime au profit des départements et des communes du chiffre d'affaires tel qu'il est défini en l'article qui précède ; que ce dernier article vise le commerce fait en France et les catégories de personnes qui l'exercent ;

Attendu que ladite loi, en son article 72, traite des importations et fixe l'impôt y afférent à 1 fr pour 100 ; que la lettre même de ces dispositions de la loi s'oppose à toute confusion ; qu'on ne saurait, dans le silence des textes, ajouter le décime de l'un à l'autre et étendre ainsi l'application des lois d'impôts au delà de leurs termes précis (Cassation civile, 25 février 1918, au journal *La Loi*, 24 décembre 1918) ; que, d'ailleurs, ces deux impôts se différencient par leur nature, leur application, leur mode de perception et la juridiction devant laquelle les contestations doivent être portées ;

Attendu, en effet, que l'impôt de 1,10 fr pour 100 visant les personnes exerçant un commerce en France est un impôt direct dans son essence, recouvrable par voie de contrainte comportant opposition devant le Conseil de Préfecture, sauf appel devant le Conseil d'Etat ; qu'il en est autrement en ce qui concerne l'impôt d'importation qui constitue un impôt indirect s'appliquant à des marchandises et non plus à des personnes et dont les tribunaux de paix, en pre-

mière instance, doivent connaître, s'il y a contestation (art. 72);

Attendu que ces différences ressortent également des observations préliminaires du tarif des douanes, d'après lesquelles il a été fait exception des nouvelles fiscales créées par la loi de juin 1920 pour les affaires conclues avant le 1^{er} juillet et dont le paiement sera effectué après cette date; que cette immunité n'a pas été étendue aux marchandises achetées avant, mais importées après cette date, le droit atteignant le fait de l'importation et non celui de la vente, droit perçu uniquement sur le prix cumulé de la valeur d'achat à l'extérieur augmentée des frais de transport, droit d'entrée, taxes intérieures, le tout établissant ainsi l'équilibre compensatoire avec les actes du commerçant en France; qu'ainsi disparaît la préoccupation émise par le premier juge dans les motifs de sa décision; qu'enfin le règlement d'administration publique rendu pour l'application de la loi de juin 1920, sous le n° 651 bis, *Journal officiel*, annexe du 12 décembre 1921, s'exprime de la façon la plus catégorique à cet égard; qu'il y est dit, en effet, que la dénomination impôt sur le chiffre d'affaires est commune à deux taxes qui, bien qu'inspirées par la même idée fiscale, sont absolument distinctes, à savoir : la taxe d'affaires proprement dite et la taxe perçue à l'importation, taxes différentes l'une de l'autre, tant par leur assiette que par leurs conditions d'application et leur mode de recouvrement;

Attendu qu'il ne saurait échapper que le législateur n'a prévu et réglementé dans la loi de finances du 30 avril 1921, en son article 8, que le mode de partage additionnel à l'impôt sur le chiffre d'affaires institué par l'article 63 de la loi de juin 1920 et non à l'impôt d'importation créé par l'article 72 de ladite loi;

Par ces motifs, le Tribunal,

Dit que l'application de la loi du 25 juin 1920 ne saurait être étendue en son article 72 au delà de ses termes précis, en ce sens que l'impôt de 1 fr visé dans l'article 63 de ladite loi est inapplicable à l'impôt indirect sur les importations, impôt dont la perception n'a été prévue que pour l'impôt direct sur le chiffre d'affaires (art. 63).

Jugement du Tribunal civil de Douai relatif au calcul des pensions aux victimes d'accidents du travail recevant des allocations familiales.

Le 14 janvier dernier, à Douai, lors de l'entrevue au cours de laquelle l'accord se fit sur la baisse des salaires entre les représentants des houillères et les délégués des trois syndicats du Nord, du Pas-de-Calais et d'Anzin, ceux-ci soumièrent à la discussion plusieurs questions annexes.

Parmi celles-ci figurait une demande tendant à obtenir l'incorporation des allocations familiales aux salaires pour le calcul des rentes d'accidents.

Parlant au nom de la délégation ouvrière, M. Maes, député, déclara que « ces allocations sont des compléments de salaires et qu'elles doivent, conformément à la loi du 31 mars, s'ajouter au salaire de base pour le calcul des rentes d'accidents ».

A cette thèse, M. Mercier, président de la Chambre des Houillères, opposa « que l'allocation familiale constitue une allocation bénévole dont le caractère est bien établi par le fait qu'elle est payée intégralement aux ouvriers bénéficiant d'indemnités ».

L'accord ne pouvant se faire, les délégués patronaux déclarèrent qu'ils attendraient l'établissement de la jurisprudence sur ce point.

Cette jurisprudence vient d'être établie par un jugement du Tribunal civil de première instance de Douai, lequel donne acte à la Compagnie d'Aniche de son offre renouvelée de verser à M. Lebreux, ouvrier mineur, une rente équivalente à 40 pour 100 de son salaire normal, la condamne au paiement de ladite rente, « mais, à plus prétendre, déclare Lebreux mal fondé et le condamne aux dépens ».

Les allocations familiales se trouvent ainsi exclues de l'incorporation au salaire normal dans l'établissement des pensions d'accidents du travail.

Sur le recouvrement par l'intermédiaire des patrons de l'impôt sur les traitements des employés.

Le « Journal officiel » du 24 mai 1922 publie, p. 758 des « Documents parlementaires, Sénat », la question et la réponse qui suivent :

5056. — M. Tissier, sénateur, demande à M. le ministre des Finances si les agents du fisc ont le droit d'imposer personnellement un employeur pour le montant des sommes qu'un employé devait payer au titre de l'impôt cédulaire sur les traitements au lieu de procéder par saisie-arrêt dans les conditions fixées par les articles 558 et suivants du code de procédure civile et si l'agent du fisc, qui aurait ainsi procédé, surtout si le redevable n'était même pas salarié de celui qui est invité à payer l'impôt ne commet pas une faute susceptible d'engager sa responsabilité personnelle. (Question du 21 mars 1922.)

Réponse. — Aux termes de l'article 25 de la loi du 31 juillet 1917, l'impôt sur les traitements et salaires doit être établi au nom des bénéficiaires. Les employeurs ne sauraient dès lors être assujettis audit impôt aux lieux et places des personnes qu'ils occupent et ils restent seulement tenus conformément aux dispositions de l'article 26 de la loi susvisée de faire connaître à l'administration le montant des salaires payés à leurs employés ou ouvriers. Dans le cas où une imposition aurait été établie au nom d'une personne autre que le véritable redevable, elle ne pourrait dès lors qu'être le résultat d'une erreur, qui ne serait pas de nature à engager la responsabilité personnelle de l'agent qui l'aurait commise et dont au surplus l'intéressé pourrait obtenir le redressement.

Sur l'établissement de la taxe sur les automobiles à usage commercial.

Le « Journal officiel » du 3 mai publie, p. 1518 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse suivantes :

13370. — M. Victor Le Guen, député, demande à M. le ministre des Finances de quelle façon et au nom de qui doit être établie la taxe due pour les voitures automobiles dont se servent habituellement les voyageurs de commerce pour l'exercice de leur profession ; 1° quand ces automobiles sont la propriété personnelle des voyageurs ; 2° quand elles appartiennent aux maisons de commerce bien qu'affectées en permanence au même voyageur (Question du 6 avril 1922.)

Réponse. — 1° Au nom du voyageur et sur les bases de la taxe entière, à moins que le propriétaire de la voiture ne soit patenté, ce qui n'est pas le cas général ; 2° au nom du propriétaire de la maison de commerce, et sur les bases de la demi-taxe (application des dispositions des articles 99 et 100 de la loi du 25 juin 1920).

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité
réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916



LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

6^e ANNÉE.

TOME XI. — N° 26.

1^{er} JUILLET 1922.

Chronique. — Le Congrès de l'Aménagement hydraulique du Sud-Ouest. — Bibliographie : *Tecnica degli impianti elettrici per luce e forza* (première partie) par Emilio PIAZZOLI, p. 945-948.

Section scientifique et technique. — Notes sur les calculs mécaniques des lignes aériennes de transmission d'énergie électrique, calcul des conducteurs, par A. JOITEL, p. 949. — Revues, analyses et informations : Sur les diagrammes circulaires des systèmes triphasés déséquilibrés et la définition de leur degré de déséquilibre, p. 957 ; Amortissement des oscillations des résonateurs de télégraphie sans fil, p. 959.

Section industrielle. — Multiplicateur statique de fréquence pour l'obtention industrielle de très hautes fréquences en télégraphie sans fil, par Marius LATOUR, p. 961. — Note pratique sur le calcul de l'élévation de température d'après la variation de résistance, par Paul GIRAULT, p. 963. — Application des dispositifs et matériel électrique moderne sur le réseau des tramways beaucairois, par René van MUYDEN, p. 965. — Revues, analyses et informations : Appareil destiné à l'étude des vibrations produites dans les édifices, p. 968. — Sur une nouvelle méthode d'émission doublant le rendement des stations de télégraphie sans fil, p. 970.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société d'Électricité de Caen, p. 971 ; Ateliers de Constructions électriques de Delle, p. 972 ; Société d'Électricité de la région de Valenciennes-Anzin, p. 972.

Section de législation. — Mise en régie et déchéance-procédure, articles 25 et 26 du cahier des charges-type, par Paul BOUGAULT, p. 973. — Législation, jurisprudence, réglementation : Sur l'assujettissement à l'impôt sur le revenu des réserves des sociétés en commandite simple ou en nom collectif, p. 976.

Le Congrès de l'Aménagement hydraulique du Sud-Ouest. — Ce Congrès, organisé par la Ligue fluviale et la Chambre de Commerce de Bordeaux, s'est tenu à Bordeaux les 17, 18, 19 et 20 juin ; il a été suivi d'une excursion dans la vallée d'Ossau (21 juin) et dans la vallée d'Aspe (22 juin).

Ainsi que nous l'avons annoncé antérieurement, les travaux du Congrès étaient répartis entre trois sections : la section de « Navigation et Ports » ayant pour président M. Clavel, inspecteur général des Ponts et Chaussées et chef du Service maritime de la Gironde, et pour vice-président, M. Georges Hersent, ingénieur des Arts et Manufactures et vice-président de la Ligue fluviale ; la section de la « Houille blanche » présidée par M. de la Brosse, inspecteur général des Ponts et Chaussées et inspecteur général des Forces hydrauliques, assisté par les vice-présidents, M. Brylinski, président du Comité électrotechnique français et délégué général du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique, et M. Gall, vice-président de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques et administrateur-délégué de la Société d'Electrochimie et d'Electrometallurgie ; enfin, la section « Hydraulique agricole et Reboisement » ayant pour président M. Dabat, directeur général honoraire des Eaux et Forêts au Ministère de l'Agriculture, conseiller-maitre à la Cour des Comptes, et pour vice-présidents, M. Le Couppey de La Forest, inspecteur général du Génie rural, et M. Rouart, président de l'Office agricole de la Région du Sud-Ouest.

Le Congrès s'est ouvert le samedi 17 juin au matin, dans la salle de l'Athénée, sous la présidence de M. Cels, député, ancien ministre, président de la Ligue fluviale et du Groupe parlementaire du Sud-Ouest, assisté de M. Audouin, professeur à l'Université de Poitiers, délégué général de la Ligue fluviale, de M. Etève, directeur-adjoint de l'Ecole spéciale des Travaux publics, secrétaire général de la Ligue fluviale, et en présence d'environ 400 congressistes, parmi lesquels se trouvaient de nombreux ingénieurs des Ministères des Travaux publics et de l'Agriculture et des compagnies de chemins de fer, des parlementaires, des délégués des chambres de commerce et des notabilités de la région.

Après les souhaits de bienvenue exprimés par M. Philippart, maire de Bordeaux, M. Cels a exposé le but que s'est proposé la Ligue fluviale en organisant le Congrès.

La ligue fluviale, dit-il, veut constituer l'outillage national du pays, nécessaire à notre relèvement économique. Il s'agit, à cet effet, d'envisager des méthodes plus opérantes qu'avant-guerre et de tendre toutes nos énergies. Ce n'est qu'en agissant ainsi qu'on aplanira toutes les difficultés.

Il importe de regarder un tel objectif comme national au premier chef. Dans ces conditions, il ne saurait y avoir de divergences d'intérêts, puisque l'intérêt public sera seul en jeu. Mais une telle condition implique l'élaboration d'un plan d'ensemble. Naguère, on ne s'occupait que de questions de détail ; c'était une source de perpétuels conflits. Il faut agir tout différemment aujourd'hui.

Le Sud-Ouest comporte deux ports : Bordeaux et Bayonne. Leur prospérité a ses répercussions sur toute la région. De

même, l'activité de l'arrière-pays influe sur celle des ports du Sud-Ouest. L'aménagement des forces hydrauliques a apporté un facteur nouveau de richesse dans ces pays qui manquaient du pain industriel : le charbon. De ce fait, le Sud-Ouest est devenu une contrée très favorisée, puisqu'elle constitue une cuvette orientée vers la mer, où l'énergie coule de trois côtés. Or, cette énergie représente la moitié de nos disponibilités naturelles. Il est donc de l'intérêt de tous de développer à la fois : ports, chutes d'eau et canaux ; tout le monde en profitera ; d'où nécessité d'une coordination des efforts.

A l'œuvre donc pour les fruits collectifs, seuls réalisateurs.

A la suite de ce discours, les trois sections du Congrès discutèrent les rapports qui leur étaient présentés. L'exposé de ces rapports et leur discussion se continuèrent dans l'après-midi du samedi, dans la matinée du lendemain et celle du lundi 19 juin. Nous reviendrons ultérieurement sur les rapports présentés à la section de la « Houille blanche », nous bornant aujourd'hui à énumérer les titres de ceux qui furent distribués.

Aménagement des forces hydrauliques dans la région du Sud-Ouest, par M. Willemin, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Toulouse ;

Inventaire sommaire des principales forces hydrauliques du département de la Haute-Garonne, par MM. Pendariès et Willemin, ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées ;

Résumé, en son état actuel, du plan d'aménagement, au point de vue des forces hydrauliques des bassins du versant ouest du Massif Central (celui du Tarn excepté) : Lot, Truyère, Dordogne, Vienne, Creuse, Cher, par M. de Folin, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, ingénieur en chef du Service des Forces hydrauliques de la région du centre ;

L'électrification des Chemins de fer du Midi, par M. Bachellet, ingénieur en chef du Matériel et de la Traction de la Compagnie des Chemins de fer du Midi ;

L'électrification partielle du réseau de la Compagnie du Chemin de fer d'Orléans, par H. Parodi, ingénieur en chef des Services électriques de la Compagnie du Chemin de fer d'Orléans ;

Situation actuelle des entreprises de production et de distribution d'énergie électrique utilisant la houille blanche, par M. Maroger, ancien directeur des Forces hydrauliques au Ministère des Travaux publics, administrateur de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques ;

Le marché de la houille blanche dans le Sud-Ouest, par M. H. Cavaillès, professeur agrégé au Lycée de Bordeaux ;

Les industries électrochimiques et électrométallurgiques dans les Pyrénées, par M. H. Giran, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse ;

Sur la formation des ingénieurs hydrauliciens, par M. C. Camichel, directeur de l'Institut électrotechnique et de Mécanique appliquée de l'Université de Toulouse.

Les discussions des rapports ont conduit le Congrès à émettre un assez grand nombre de vœux parmi lesquels nous signalerons seulement ceux qui intéressent particulièrement nos lecteurs.

A la séance plénière tenue à la fin de la première journée, furent adoptés les vœux suivants :

Que des concessions ne soient accordées qu'autant qu'elles ne sont pas inconciliables avec le plan général d'aménagement des cours d'eau ;

Que l'enseignement de l'hydraulique appliquée, dans les écoles techniques, soit développé, en particulier au point de vue expérimental, en vue des essais de la pratique industrielle, afin de répondre aux besoins actuels de l'industrie ;

Que l'Etat favorise énergiquement par ses exemples, par son enseignement, par ses appuis matériels et moraux, par ses immunités fiscales et par l'adaptation de la législation au concours des capitaux collectifs ou particuliers, le maintien et l'amélioration des forêts existantes, l'aménagement sylvo-pastoral des montagnes et le reboisement des surfaces dénudées.

A la séance du lundi 19 juin, la section de la « Houille blanche » émit les vœux suivants concernant la production de l'énergie électrique :

Que la libre concurrence soit à la base de toute production d'énergie électrique ;

Que la production soit dans une mesure raisonnable en avance sur la consommation ;

Qu'en cas de demandes concurrentes émanant simultanément des sociétés privées et de collectivités régionales et présentant toutes choses égales d'ailleurs, les mêmes conditions de participation financière de l'Etat, la préférence soit accordée aux collectivités ;

Que l'aide financière accordée éventuellement par l'Etat soit réservée par priorité aux entreprises assurant une meilleure répartition de l'énergie, puis à celles qui procureraient une amélioration de la qualité de l'énergie produite et seulement en troisième lieu aux entreprises de simple production ;

Qu'en tout cas, la part de gestion réservée à l'Etat dans les entreprises qu'il aura soutenues financièrement soit proportionnelle à l'effort financier qu'il aura fait ;

Que l'on tire des installations existantes, dont une région peut disposer, les maximums de rendement dont elles sont capables avant de songer à en établir de nouvelles, pareille utilisation étant une nécessité vitale pour l'avenir de l'énergie ;

Que, dans le seul but de tirer ce maximum de rendement, il soit procédé, en cas de participation financière de l'Etat, de préférence à l'utilisation des chutes situées en séries le long d'un cours d'eau principal, plutôt qu'à l'aménagement simultané d'affluents ne participant pas à la réalisation existante ou projetée dans la partie amont du cours d'eau principal.

Le Congrès prend acte des communications faites au nom des VII^e et XVII^e régions, relatives à leur demande en concession pour les II^e, III^e et IV^e sections de la Dordogne et, laissant aux pouvoirs publics le soin d'apprécier la valeur technique et financière de ces propositions, signale à la bienveillante attention des pouvoirs publics leur louable initiative.

Les vœux relatifs à la transmission et la distribution de l'énergie électrique furent également pris en considération et leur rédaction fut confiée à une commission spéciale ; on trouvera plus loin le texte de ces vœux.

Le lendemain mardi, à la suite d'un exposé de M. Gall montrant que, si l'on veut créer une industrie de la fixation de l'azote de l'air par l'énergie électrique, création qui lui paraît d'autant plus nécessaire que c'est le moyen le plus puissant d'utiliser l'énergie disponible dans le Sud-Ouest, il est indispensable de modifier le régime douanier concernant les engrais

azotés, la section de la « Houille blanche » émit le vœu qui suit :

Considérant combien il est important, pour l'utilisation des usines hydroélectriques déjà installées, notamment dans la région des Pyrénées, de tirer parti de l'énergie disponible pour la fabrication de l'azote industriel, qui intéresse à la fois l'agriculture et la défense nationale, émet le vœu que cette situation soit soigneusement considérée par les ministères compétents et que les efforts soient coordonnés pour assurer le succès de cette industrie.

A la séance plénière de clôture du mardi 20 juin, présidée par M. Yves Le Trocquer, ministre des Travaux publics, la commission spéciale chargée de la rédaction des vœux présenta plusieurs vœux qui furent adoptés à l'unanimité ; cinq d'entre eux présentent un intérêt plus ou moins direct pour le développement de la production et de la distribution de l'énergie électrique ; en voici les textes :

I. La distribution de l'énergie électrique. — Le Congrès, sur la question de la distribution de l'énergie électrique, est d'avis :

1^o Que le problème de l'électrification des départements n'est pas un problème de production ou de transport, mais un problème de répartition ; 2^o que, pour réaliser de la manière la plus économique cette répartition, il convient de rechercher tout d'abord, par la collaboration avec les sociétés de distribution existantes, une utilisation aussi intensive que possible des réseaux établis ; 3^o que, dans le cas où il sera indispensable d'envisager la construction de lignes nouvelles, l'effort du département ou, le cas échéant, des collectivités régionales doit se porter surtout sur la réalisation du réseau intermédiaire entre les lignes d'alimentation ou de grand transport (à 90 000, 60 000 ou 45 000 volts) et les distributions locales à basse tension, la réalisation de ces dernières étant du ressort des intéressés ;

S'inspirant de ces directives, le Congrès émet le vœu :

En ce qui concerne le réseau départemental intermédiaire, que ce réseau soit construit par le département ou avec sa participation, en vertu de concessions dites de transports accordées par l'Etat, sauf faculté de rétrocession ;

En ce qui concerne le réseau de distribution proprement dit, que celui-ci soit, en principe, construit par les intéressés (communes, syndicats de communes, associations syndicales, sociétés d'intérêt collectif agricoles, etc.) ou avec leur participation, avec subvention de l'Etat et des départements, s'il y a lieu.

II. Le transport de l'énergie électrique. — Le Congrès émet le vœu :

Que l'établissement d'un réseau national à très haute tension, qui est un des moyens les plus efficaces de parer à la mauvaise répartition de l'énergie électrique, soit entrepris sans retard, suivant une méthode et un programme nettement définis, avec la participation financière et sous le contrôle de l'Etat ;

Que la loi actuellement pendante devant le Sénat modifiant la loi du 15 juin 1906, dans le but de permettre la création des organismes collectifs de transport et de donner à ces organismes l'aide financière de l'Etat, soit discutée et votée le plus rapidement possible ;

Que l'Etat favorise également, par tous les moyens en son pouvoir, la création du réseau à haute tension, soit en utilisant les réseaux établis ou à établir par les compagnies en vue de l'électrification des voies ferrées d'intérêt général, soit en recourant à une collaboration des compagnies, des

sociétés productrices et distributrices de courant et des collectivités représentant les consommateurs, soit en concédant à des sociétés privées des lignes de transport ;

Que, dans tous les cas, les lignes de transport servant à des fins d'intérêt général ne soient établies que sous le régime des concessions ;

Qu'une législation nouvelle soit mise à l'étude en vue de permettre une accélération de la procédure et notamment un règlement plus rapide des différends relatifs aux droits de passage.

III. L'aide aux offices régionaux. — Le Congrès appelle l'attention des pouvoirs publics, des producteurs et des consommateurs d'électricité sur l'intérêt qu'il y a à soutenir les offices régionaux d'énergie électrique dans l'œuvre qu'ils ont entreprise de coordination et de développement des moyens d'utilisation des forces hydrauliques et :

Emet le vœu :

Que les chefs de service des grandes administrations techniques soient appelés à faire partie des offices régionaux d'énergie électrique.

IV. Canal de la Loire à la Garonne. — Le Congrès :

Considérant qu'il n'est pas à même de manifester dès maintenant une opinion motivée sur la préférence à accorder à un des tracés déjà étudiés, non plus que sur l'intérêt économique certain d'un ouvrage semblable ;

Considérant, au surplus, que la dépense envisagée paraît sortir des capacités financières actuelles et que la question paraît se lier dans une large mesure avec l'utilisation hydroélectrique des cours d'eau de la région ;

Emet le vœu :

Que l'étude du projet soit poursuivie sous les auspices de la Ligue fluviale avec mission de mettre en contact les diverses collectivités intéressées à sa réalisation et d'harmoniser leurs aspirations et leurs concours à cet égard en recherchant dans l'aménagement, au point de vue hydroélectrique des cours d'eau de la région, le moyen de réduire dans une très notable proportion les sacrifices pécuniaires à consentir pour l'établissement et l'exploitation de la voie navigable elle-même.

V. L'amélioration de la Dordogne en amont de la section maritime. — Le Congrès :

Considérant que l'amélioration du régime de la navigation de la Dordogne dans cette section se lie intimement au programme à réaliser pour l'utilisation des forces hydroélectriques qu'elle représente,

Emet le vœu :

Que ce programme soit ramené à exécution dans un avenir aussi prochain que possible afin que la navigation soit, au plus tôt, à même d'en profiter.

L'excursion qui eut lieu le mercredi 21 juin dans la vallée d'Ossau, au sud-est de Pau, avait pour but de montrer aux congressistes les importants travaux exécutés par la Compagnie des Chemins de fer du Midi en vue de réaliser l'aménagement hydraulique intégral de cette vallée au moyen de trois usines échelonnées depuis le lac d'Artouste, situé à l'altitude de 1985 m, jusqu'à Laruns, à l'altitude de 522 m ;

Ces trois usines sont :

1^o L'usine inférieure ou du Hourat dont on escompte l'achèvement pour cette année ; elle utilise une chute de 200 m et son équipement comprendra cinq groupes de 10 000 ch chacun ;

2° L'usine intermédiaire, ou de Miegerat, utilisant une chute de 400 m et dont l'équipement comprendra également 5 groupes de 10 000 ch; elle sera achevée dans deux ans;

3° L'usine supérieure, ou d'Artouste, située à la cote 1 142, utilisera une chute de 800 m et sera terminée, espère-t-on, en 1926.

L'ensemble de ces trois usines donnera 120 000 ch.

L'excursion du lendemain fut consacrée à la visite de la vallée d'Aspe dont l'aménagement a été concédé à la Société des Forces motrices de la Vallée d'Aspe.

Le programme que s'est tracé cette société comprend la construction de six usines fonctionnant toute l'année et dont la puissance installée sera de 80 000 ch, et de deux usines saisonnières avec une puissance installée de 14 000 ch, ensemble qui permettra d'assurer pendant 3 500 h par an une fourniture régulière de 6 500 ch.

Ces usines sont :

1° L'usine de pointe saisonnière du lac d'Estaens; ce lac est aménagé en réservoir d'étiage d'une capacité de 6 000 000 m³; la hauteur de chute est de 475 m, la puissance de 4 000 ch;

2° L'usine de pointe journalière des Forges d'Abel avec un bassin régulateur de 75 000 m³, en tête de la conduite forcée; la hauteur de chute est de 160 m, la puissance de 3 800 ch;

3° L'usine de pointe journalière du Baralet, ayant un bassin régulateur de 100 000 m³; la hauteur de chute est de 336 m sur le gage d'Aspe et de 460 m sur le gage de Sescoué; la puissance de l'usine est de 16 000 ch;

4° L'usine partiellement régularisée d'Eygün-Lescun; la hauteur de chute est de 205 m sur le gage d'Aspe, de 331 m sur le gage de Lescun et la puissance de l'usine de 28 000 ch;

5° L'usine d'Esquit sur le gage d'Aspe; la hauteur de chute est de 42 m, la puissance de 6 000 ch;

6° L'usine d'Escot sur le gage d'Aspe, partiellement régularisée par un réservoir intermédiaire; la hauteur de chute est de 92 m, la puissance de 16 000 ch;

7° L'usine partiellement régularisée d'Asasp, sur les gages d'Aspe et de Lourdios; la hauteur de chute est de 39 m et la puissance de l'usine de 9 000 ch;

8° L'usine saisonnière de Lourdios, alimentée par un lac artificiel de 12 000 000 m³ de capacité; la hauteur de chute est de 250 m, la puissance de 10 000 ch.

La première tranche du programme de la société prévoit l'aménagement des usines d'Esquit, des Forges d'Abel et d'Estaens, la construction d'une ligne à 60 000 v reliant ces usines avec le poste à 150 000 v de la Compagnie des Chemins de fer du Midi à Laruns, la construction d'une ligne reliant également ces usines à Oloron, Mauléon, Saint-Palais, Hasparren, Bayonne, Saint-Jean-de-Luz, d'une part, et à Oloron et Pau, d'autre part, l'agrandissement de l'usine électrométallurgique d'Eygün et son transport près de la gare de Bedous.

L'état d'avancement des travaux permet d'envisager la réalisation complète du programme pour le 1^{er} juillet

1923. L'usine d'Esquit, notamment, fonctionnera fin 1922, celle des Forges d'Abel en avril 1923 et celle d'Estaens en juin 1923.

Le courant électrique nécessaire pour ces travaux est assuré par l'ancienne usine des Forges d'Abel et par l'usine de l'Arnousse, qui appartient également à la société.

La deuxième tranche du programme comprend la construction des usines de Baralet et d'Eygün-Lescun, ainsi qu'un développement important du premier réseau.

Ces deux excursions montrèrent aux congressistes l'intérêt que présente la nouvelle formule de concession adoptée par l'Administration des Ponts et Chaussées pour l'utilisation des forces motrices hydrauliques : concéder une longueur importante d'un cours d'eau à une même société avec obligation pour celle-ci d'utiliser toute la force motrice susceptible d'y être captée. Cette formule est évidemment préférable à celle appliquée jusqu'à ces dernières années et consistant en la concession d'une ou de plusieurs chutes sans qu'il y ait coordination entre les plans d'aménagement des chutes concédées et celui des chutes déjà concédées ou restant à concéder. Elle permet, en effet, une utilisation intégrale de nos richesses hydrauliques qui était irréalisable auparavant.

Mais elle ne pouvait être appliquée dans toute sa généralité avant le vote de la loi du 16 octobre 1919 sur l'utilisation de la puissance hydraulique. C'est là une des conséquences de cette loi qui méritait d'être mise en relief.

Bibliographie : Tecnica degli impianti elettrici per luce e forza. Première partie, par Emilio Piazzoli (1). — Cet ouvrage dont la première partie vient de paraître est la septième édition, complètement remaniée et étendue à tout le domaine de l'électrotechnique, d'un manuel consacré presque exclusivement, dans les précédentes éditions, aux installations d'éclairage électrique.

L'ouvrage complet doit comprendre seize chapitres, dont sept figurent dans le présent volume et sont intitulés respectivement : Symboles et Notations; unités de mesure. Rappel des notions fondamentales de l'électrotechnique; constantes, données et tables. Mesures électriques. Machines électriques. Transformateurs. Epreuves de réception des machines électriques. Accumulateurs.

L'auteur s'est conformé dans son travail aux règles, aux notations et aux signes adoptés par le Comité électrotechnique italien, et aussi, quand ils existent, aux règles, notations et signes internationaux.

Toutes les questions sont traitées successivement au point de vue théorique et au point de vue pratique, et l'auteur a donné, en particulier, un grand développement au deuxième chapitre (Revision des notions fondamentales de l'électrotechnique) auquel sont consacrées 192 pages et qui renferme de nombreuses applications numériques se rapportant aux problèmes qui peuvent se présenter dans la pratique, ainsi que toutes les tables relatives aux différentes grandeurs électriques et magnétiques.

On peut dire, d'ailleurs, de l'ouvrage en général qu'il constitue à la fois un traité complet d'électricité industrielle et un aide-mémoire. — P. B.

(1) Un volume, format 16 cm x 11 cm, 691 pages, 321 figures. Edité par la librairie Ulrico Hoepli, à Milan. Prix : 28 lires.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Note sur les calculs mécaniques des lignes aériennes de transmission d'énergie électrique

Calcul des conducteurs

Après avoir rappelé les conditions à réaliser dans l'installation des lignes aériennes, conditions exigées par l'Administration française, l'auteur passe en revue les différents calculs usuels et rappelle les formules et équations auxquelles on aboutit dans le cas d'un fil tendu sur deux supports placés à des niveaux différents. Dans un prochain article l'auteur indiquera comment les différents calculs peuvent être exécutés graphiquement au moyen de nomogrammes, ou abaques à points alignés de forme nouvelle.

But de cette étude. — L'arrêté technique du ministre des Travaux publics, en date du 30 juillet 1921, a fixé les conditions auxquelles doivent satisfaire les lignes de transmission d'énergie, en particulier les lignes aériennes. La circulaire de même date porte envoi de l'arrêté précité et en commente les dispositions générales ou spéciales.

D'autre part, il n'est accordé par le Contrôle aucune autorisation sans production d'un dossier comportant tous renseignements, calculs et justifications mettant en évidence l'observation des prescriptions ministérielles, lors de l'exécution éventuelle du projet présenté.

Toute méthode de calcul doit donc être basée sur les conditions techniques imposées qui seront résumées plus loin.

Quelques études ont déjà été présentées en vue de ramener les calculs mécaniques des lignes aériennes, spécialement ceux des conducteurs, à l'exécution d'opérations graphiques et nomographiques relativement simples⁽¹⁾. Il faut citer en premier lieu l'ouvrage remarquable et très complet de M. Blondel. Cette étude présente un certain nombre d'abaques cartésiens avec ou sans anamorphose logarithmique. D'autres études intéressantes ont été présentées, en particulier celle de

M. L. Potin⁽¹⁾, où il est proposé l'emploi de nomogrammes à points alignés.

La présente étude ramène les calculs à l'établissement de nomogrammes à points alignés dont l'utilisation permet de déterminer sans difficulté les caractéristiques mécaniques nécessaires pour la pose des conducteurs, dans les conditions conformes à celles fixées par le règlement.

Cette méthode permet de résoudre aisément et directement le problème du changement de conditions, c'est-à-dire de résoudre en définitive une équation du troisième degré où l'inconnue est l'effort de tension du conducteur pendant la pose et dont les coefficients dépendent de quatre paramètres : la portée du conducteur entre supports, la tension maximum fixée selon le coefficient de sécurité à adopter, le coefficient de surcharge due au vent et aux conditions atmosphériques (neige, verglas) et l'écart de température entre les deux conditions envisagées.

Elle permet, en outre, de calculer immédiatement les coefficients de surcharge dont il est question ci-dessus et cela également d'une manière directe, sans avoir à considérer des portées et des flèches fictives.

Des données et des quantités précédemment déterminées, on déduit facilement d'autres renseignements utiles, tels que la flèche et la longueur du conducteur entre supports et cela à l'aide d'autres nomogrammes.

I. — Résumé des principales conditions techniques à remplir.

Les conditions à remplir d'après l'arrêté du 30 juillet 1921⁽²⁾ peuvent se ranger en quatre classes principales.

⁽¹⁾ Dans *La Technique moderne*, du 15 octobre 1912.

⁽²⁾ Arrêté technique du Ministère des Travaux publics, du 30 juillet 1921 *Journal officiel*, du 14 septembre 1921. *Revue générale de l'Électricité*, 8, 15 et 22 octobre 1921, t. x. p. 496-504, 538-543, 578-583.

⁽¹⁾ A. BLONDEL ; Calcul des lignes aériennes au point de vue mécanique. *La Lumière électrique*, librairie de la *Revue générale de l'Électricité*.

L. POTIN ; Calcul à vue des lignes aériennes. *La Technique Moderne*, 15 octobre 1912. Dunod.

Calculs mécaniques des lignes aériennes ; COMMISSION TECHNIQUE DU SYNDICAT PROFESSIONNEL DES PRODUCTEURS ET DISTRIBUTEURS D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE. *R. G. E.* 12 mars 1921, t. ix, p. 349.

H. ANTRANIKIAN ; Formules et abaques pour servir au calcul au point de vue mécanique des lignes aériennes *Revue générale de l'Électricité*, 16 avril 1921.

P. BERGEON ; A. CASTEX et L. BARBILLON : *Lignes électriques aériennes* (Albin Michel éditeur).

M. d'OCAGNE. *Calcul graphique et nomographie* (O. Doin). SOREAU ; *Nomographie ou Traité des Abaques* (Chiron, éditeur)

Il y a lieu tout d'abord de distinguer deux catégories de distributions d'énergie : celles de la première catégorie sont celles pour lesquelles la tension en courant continu est inférieure à 600 v et la tension alternative inférieure à 150 v (tension efficace entre les conducteurs et la terre) ; celles de la deuxième catégorie sont celles pour lesquelles la tension est supérieure aux valeurs précédentes. Cela posé les quatre classes de conditions à remplir sont les suivantes :

1. Hauteur des conducteurs au-dessus du sol.

— a) SUR LA VOIE PUBLIQUE. — Pour la première catégorie de distributions, le point le plus bas des conducteurs de toute nature doit être à 6 m au moins le long et à la traversée des voies publiques, à 2 m des toits en pente qu'elles longent ou au-dessus desquels elles passent ; à 3 m des toits en terrasse ; à 1 m au moins des façades dans la traversée des agglomérations.

Pour la deuxième catégorie de distributions, le point le plus bas des conducteurs doit être à 6 m au moins le long et à 8 m à la traversée des voies publiques ; à 2 m des toits en pente qu'elles longent et au-dessus desquels elles passent et à 3 m si le toit est en terrasse ; à 1 m au moins des façades dans la traversée des agglomérations.

b) TRAVERSÉE DES COURS D'EAU. — Au-dessus de la surface des canaux et cours d'eau navigables, la hauteur du point le plus bas doit être d'au moins 8 m ; elle doit être d'au moins 3 m au-dessus des cours d'eau non navigables.

c) TRAVERSÉES DES VOIES FERRÉES. — Elles doivent se faire autant que possible d'une seule portée, sous un angle d'au moins 60°, à 7 m au-dessus du rail et à 2 m au moins, au-dessus des conducteurs électriques préexistants. Les supports ne peuvent être en bois, dans la traversée et les portées immédiatement contiguës, si la distribution est de deuxième catégorie. Ces mêmes supports, dans une traversée de voie ferrée, doivent être distants d'au moins 3 m du rail le plus voisin et placés autant que possible en dehors des lignes de conducteurs électriques existant le long des voies.

d) PROTECTION DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES, TÉLÉPHONIQUES, ET DES LIGNES DE SIGNAUX. — La distance des conducteurs aériens à ces différentes lignes sera d'au moins 1 m pour les distributions de première catégorie et de 2 m pour les distributions de deuxième catégorie. Aux points de croisement, les conducteurs d'énergie devront être placés au-dessus des lignes télégraphiques, téléphoniques ou de signaux.

2. Limite inférieure du diamètre des conducteurs. — a) SUR LA VOIE PUBLIQUE. — Le diamètre de l'âme métallique des conducteurs ne peut être inférieure à 3 mm. Toutefois ce diamètre peut être abaissé à 2,5 mm pour les branchements particuliers ou de canalisation d'éclairage public de la première catégorie qui ne croisent pas des lignes télégraphiques ou téléphoniques placées au-dessous.

b) TRAVERSÉES DES VOIES FERRÉES. — La section ne peut être inférieure à 12 mm² pour une portée au plus égale à 40 m ; elle ne peut être inférieure à 19 mm² pour une portée supérieure à 40 m.

3. Hypothèses à faire pour les calculs mécaniques. — La résistance mécanique est calculée en tenant compte à la fois des charges permanentes que les organes ont à supporter et de la plus défavorable en l'espèce des deux combinaisons de charges accidentelles résultant des circonstances ci-après :

a) Température moyenne de la région avec vent horizontal exerçant un effort de 120 kg : m² de surface plane ou de 72 kg : m² de section longitudinale des pièces à section circulaire.

b) Température minimum de la région avec vent horizontal exerçant un effort de 30 kg : m² de surface plane ou de 18 kg : m² de section longitudinale des pièces à section circulaire.

4. Coefficients de sécurité imposés. — a) SUR LA VOIE PUBLIQUE. — Les coefficients sont : 3 pour les parties établies longitudinalement sur le sol ; 5 pour les parties établies dans les agglomérations ou les traversées.

b) TRAVERSÉES DES COURS D'EAU. — Ils sont dans ce cas : 5 dans la traversée des cours d'eau navigables ou des canaux ; 3 dans la traversée des autres rivières du domaine public.

c) TRAVERSÉES DES VOIES FERRÉES. — On doit prendre : 5 pour les parties de l'installation autres que les conducteurs ; 10 pour les conducteurs de la traversée et 1 au minimum pour l'installation, dans l'hypothèse de la rupture de tous les fils d'un même côté d'un support.

II. — Calculs mécaniques.

1. Rappel de quelques formules fondamentales.

— Nous supposons a priori que nous avons affaire à des fils ou câbles flexibles, c'est-à-dire formés d'éléments infiniment petits articulés. Un tel système n'a par lui-même aucune forme déterminée et peut subir des déformations considérables sous l'action de forces transversales, même très petites. Il en résulte que les hypothèses de la résistance des matériaux et les formules de déformation des pièces prismatiques ne peuvent s'appliquer et l'on ne peut en général écrire les équations d'équilibre sans avoir égard à la forme prise par le câble déformé.

Par contre, les lois spéciales de l'équilibre d'un câble découlent des propriétés spéciales du câble. Pour que l'équilibre d'un câble soit réalisé, il est nécessaire que chaque élément de sa longueur ne soit soumis qu'à des efforts parallèles à sa propre direction ⁽¹⁾. Autrement dit, la force résultante de toutes les forces situées à gauche d'une section normale, y compris les réactions

⁽¹⁾ Ce qu'on appelle, dans l'étude des pièces prismatiques, des efforts normaux.

d'appui (force appelée ordinairement *force extérieure*), doit passer par le centre de gravité de la section. Ceci revient à dire que *le moment fléchissant dans chaque section doit être nul*.

L'étude de la fatigue d'un câble ou d'un fil revient donc à la seule considération de l'effort normal ou tension qui s'exerce dans le sens de la longueur du fil ou du câble.

a) EQUATIONS GÉNÉRALES D'ÉQUILIBRE SOUS L'ACTION DE FORCES DONT LES LIGNES D'ACTION SONT DONNÉES. — TENSIONS. — Nous supposons les *forces verticales*.

Soit le câble AB dans sa position d'équilibre (fig. 1).

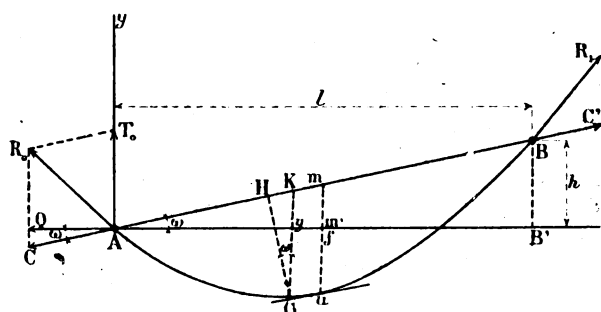


Fig. 1.

Soit R_0 la réaction en A. Décomposons-la suivant la verticale Ay et suivant la ligne des appuis AB.

Soient T_0 et C les composantes ainsi obtenues.

T_0 est égale à la réaction verticale qui se développerait à l'appui A dans une poutre droite de même portée que le câble et reposant sur appuis simples (ce serait, en effet, la même équation qui servirait à la déterminer).

Soit μ le moment qui se produirait au point de la poutre droite, situé sur la verticale d'un point quelconque G du câble.

Si l'on prend, par rapport à G, le moment de toutes les forces qui agissent à gauche de ce point, ce moment M vaudra

$$M = \mu - C \times GH = \mu - Cy \cos \omega, \quad (1)$$

ω étant l'angle que fait avec l'horizontale la ligne des appuis; y étant l'ordonnée oblique GK comptée sur la verticale entre la courbe décrite par le câble et la ligne des appuis.

Si l'on désigne par Q la composante horizontale de la réaction d'appui, on a

$$Q = C \cos \omega,$$

et

$$M = \mu - Q\eta. \quad (2)$$

Or, comme on l'a vu précédemment, ce qui caractérise la flexibilité du câble, c'est qu'en tout point G, $M = 0$, ou

$$p - Qy = 0, \quad (3)$$

ce qui donne

$$Q = \frac{\mu}{y}. \quad (4)$$

Soit f la flèche de l'arc, comptée sur la verticale du milieu m de la corde AB, c'est-à-dire pour $x = \frac{l}{2}$ (l étant la portée horizontale).

Supposons, d'autre part, les charges uniformément réparties à raison de p kilogrammes par mètre courant de câble.

A titre d'approximation ⁽¹⁾, nous supposons que cette hypothèse correspond à une charge également répartie sur la corde AB. L'on sait que

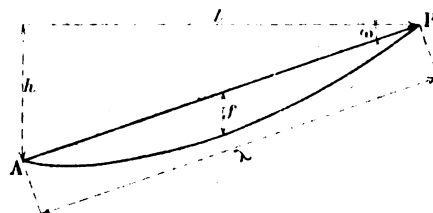


Fig. 2.

dans ce cas, en chaque point d'abscisse x de la poutre droite AB, on a $\mu = \frac{p x (l-x)}{2}$.

Pour $x = \frac{l}{2}$ cette expression devient $\mu = \frac{\rho l^2}{8}$, d'où, d'après (4),

$$Q = \frac{p l^2}{8f}, \quad (5)$$

et

$$C = \frac{Q}{\cos \omega} = \frac{1}{\cos \omega} \frac{\rho l^2}{8f}. \quad (6)$$

Remarque. — En tenant compte de l'approximation précédente, le point a du câble, situé sur la verticale du milieu m de AB, est le point du câble où la tangente est parallèle à la corde AB. En effet, la résultante des forces verticales passe par le milieu m de AB puisqu'on suppose les charges uniformément réparties suivant AB. Les lignes d'action des tensions du câble, en A et en B, se coupent donc sur la verticale m a qui, par suite, est bien le diamètre conjugué des cordes parallèles à AB (propriétés de la parabole).

b) LONGUEUR D'UN CABLE EN FONCTION DE LA FLÈCHE, DE LA PORTÉE HORIZONTALE ET DE LA CORDE. — Nous supposons

(1) On voit facilement que cette approximation revient à supposer que le câble prend une forme parabolique. L'équation (4) peut en effet s'écrire $y = \frac{\mu}{l}$, ce qui prouve que les ordonnées y de la courbe du câble, rapportée à AB et Oy, sont proportionnelles à μ c'est-à-dire aux ordonnées d'une parabole rapportée aux axes Ox et Oy. L'approximation en question n'est d'ailleurs légitime que si la courbe du câble ne diffère que très peu de la corde AB.

toujours, ce qui est le cas usuel, que la courbe décrite par le câble diffère peu de la corde ⁽¹⁾.

Pour la rectification d'un tel arc de courbe, que nous avons déjà assimilé à un arc de parabole Résal donne la formule

$$L = \lambda + \frac{8}{3} \frac{f^2 l^2}{\lambda^3}, \quad (7)$$

où λ est la longueur de la corde.

Cette formule se déduit d'ailleurs de la formule approchée

$$L = \lambda + \frac{8}{3} \frac{\varphi^2}{\lambda}, \quad (8)$$

dans laquelle φ est la flèche comptée au milieu normalement à la corde, en remarquant que l'on a approximativement $\varphi = f \cos \omega = f \frac{l}{\lambda}$.

(La formule (8) provient elle-même de la rectification de la parabole dont l'axe est perpendiculaire au milieu de AB, parabole pour laquelle ladite formule est exacte).

Remarque. — Cas où les appuis sont de niveau. — Dans ce cas, les formules (5), (6), (7), (8) deviennent

$$Q = C = \frac{p l^2}{8 f} \quad (9)$$

$$L = l + \frac{8}{3} \times \frac{f^2}{l}. \quad (10)$$

Il n'y a pas de changement pour l'expression de Q .

2. Surcharges. — Coefficient de surcharge. —

a) DÉFINITION. — En dehors de la charge qui est son propre poids, le fil ou câble est soumis à des surcharges.

Ces surcharges sont dues : 1° à l'action du vent ; 2° à l'action de la neige ; 3° à l'action du verglas.

Les actions dues à la neige et au verglas sont des actions *verticales*. Nous supposons toujours, comme le veut d'ailleurs le règlement, que l'action du vent est *horizontale*.

Si l'on désigne par P la résultante des actions verticales (poids propre, neige ou verglas) et par P_v

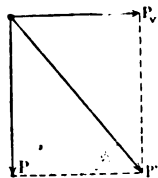


Fig. 3.

l'action horizontale du vent, ces forces étant supposées agir sur 1 mètre courant du fil ou du câble ; la

résultante P' de ces actions aura pour expression

$$P' = \sqrt{P^2 + P_v^2}.$$

Si p désigne le poids propre du fil ou du câble par mètre courant, on appelle coefficient de surcharge le rapport

$$m = \frac{P'}{p},$$

ou

$$m = \frac{\sqrt{P^2 + P_v^2}}{p}.$$

b) CALCUL DU COEFFICIENT m . — On a vu précédemment qu'il y avait lieu d'envisager dans les calculs deux hypothèses imposées par l'arrêté technique :

Hypothèse (a), que nous appellerons aussi *hypothèse d'été* : dans cette hypothèse, on suppose un vent exerçant une pression de $7.2 \text{ kg} : \text{m}^2$ ⁽¹⁾ de section longitudinale des pièces à section circulaire.

Hypothèse (b), que nous appellerons aussi *hypothèse d'hiver* : dans cette hypothèse, on suppose pour la température minimum de la région, un vent exerçant une pression de $18 \text{ kg} : \text{m}^2$ ⁽²⁾ de surface diamétrale des pièces à section circulaire.

Mais pour l'hiver, l'arrêté technique fait abstraction de toute surcharge autre que celle due au vent, comme la neige et le verglas. Cependant ces deux éléments jouent souvent un grand rôle dans la sécurité de construction des lignes. L'incertitude des chiffres admis est une des causes de l'abstraction faite par le règlement ⁽³⁾. Peut-être aurait-on intérêt à adopter des coefficients de sécurité moindres et à faire des études régionales relativement aux conditions atmosphériques. Quoi qu'il en soit, on compte ⁽⁴⁾ dans les régions tempérées que la surcharge due à la neige correspond à une augmentation de la moitié du poids propre du conducteur.

Pour le verglas, les surcharges admises sont assez arbitraires : 1° verglas doublant le poids du fil et triplant le diamètre, avec la présence d'un vent exerçant une pression de $10 \text{ kg} : \text{m}^2$ de surface plane, soit de $6 \text{ kg} : \text{m}^2$ de section diamétrale des conducteurs, ce vent étant supposé suffisant pour briser la glace.

Ou bien : 2° verglas augmentant le poids du fil de moitié et doublant son diamètre avec un vent exerçant une pression de $30 \text{ kg} : \text{m}^2$ de surface plane, soit de $18 \text{ kg} : \text{m}^2$ de surface longitudinale des conducteurs.

⁽¹⁾ Pour les surfaces planes, on suppose un vent exerçant une pression de $120 \text{ kg} : \text{m}^2$; sur une surface cylindrique la pression du vent n'est que les 0,6 de la pression qui existerait sur la surface plane égale à la section longitudinale diamétrale.

⁽²⁾ Pour une surface plane, on supposerait que la pression due au vent est de $30 \text{ kg} : \text{m}^2$ (voir note ci-dessus).

⁽³⁾ La chaleur dégagée par le passage du courant est également supposée suffisante, en général, pour empêcher la formation de dépôts de neige ou verglas.

⁽⁴⁾ Hypothèse admise par MM. Bergeon et Castex dans leur ouvrage *Lignes électriques aériennes*, publié avec la collaboration de M. L. Barbillion.

⁽¹⁾ Voir la note de la page précédente.

Les calculs de surcharges dues au vent, à la neige et au verglas ont été faits selon les hypothèses ci-dessus.

Ces hypothèses peuvent d'ailleurs être résumées dans le tableau ci-après, où p_v désigne l'effort du vent

par mètre carré de section diamétrale des conducteurs, où d est le diamètre en millimètres du conducteur sans surcharge, et où P et p ont la même signification que précédemment.

| NATURE DES SURCHARGES | HYPOTHÈSE a) (ÉTÉ) | | | HYPOTHÈSE b) (HIVER) | | |
|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| | p en kilogramme | diamètre D avec surcharge | p_v en kg : m ² | p en kilogramme | diamètre D avec surcharge | p_v en kg : m ² |
| Vent seul (arrêté technique). | p | d | 7^2 | p | d | 18 |
| Vent et neige. | id | id | id | $\frac{3p}{2}$ | d | 18 |
| Vent et verglas 1) | id | id | id | $2 p$ | $3 d$ | 6 |
| Vent et verglas 2) | id | id | id | $\frac{3p}{2}$ | $2 d$ | 18 |

D'une manière générale, si l'on désigne par δ le poids spécifique du métal, en kilogrammes par décimètre cube et par s , la valeur en millimètres carrés de la section, on a

$$p = s \delta 10^{-3}, \quad (1)$$

exprimé en kilogrammes par mètre courant, avec, si D est le diamètre en millimètres, une surcharge due au vent

$$P_v = p_v D 10^{-3}, \quad (2)$$

Ceci posé, nous pouvons donner les formules dans chaque cas :

1° Cas du vent seul. — On a

$$m = \frac{\sqrt{p^2 + p_v^2 d^2 10^{-6}}}{p} = \frac{\sqrt{s^2 \delta^2 + p_v^2 d^2}}{s \delta}.$$

En exprimant d en fonction de la section s (soit $d^2 = \frac{4s}{\pi}$), on arrive à l'équation

$$(m^2 - 1) s = \frac{4}{\pi} \frac{p_v^2}{\delta^2},$$

qui peut s'écrire

$$(m^2 - 1) s = 1,27 \frac{p_v^2}{\delta^2}, \quad (3)$$

où $p_v = 7^2$ kg : m² (été) et $p_v = 18$ kg : m² (hiver).

2° Cas du vent et de la neige. — On a

$$m' = \frac{\sqrt{\frac{9p^2}{4} + p_v^2 d^2 10^{-6}}}{p}$$

et on arrive finalement à l'équation

$$\left(m'^2 - \frac{9}{4}\right) s = 1,27 \frac{p_v^2}{\delta^2}, \quad (4)$$

dans laquelle $p_v = 18$ kg : m².

3° Cas du vent et du verglas n° 1. — On a

$$m'' = \frac{\sqrt{4p^2 + 9p_v^2 d^2 10^{-6}}}{p}.$$

On arrive à l'équation

$$\frac{1}{9} (m''^2 - 4) s = 1,27 \times \frac{p_v^2}{\delta^2}, \quad (5)$$

dans laquelle $p_v = 6$ kg : m².

4° Cas du vent et du verglas n° 2. — On a

$$m''' = \frac{\sqrt{\frac{9p^2}{4} + 4p_v^2 d^2 10^{-6}}}{p},$$

ce qui conduit à l'équation

$$\frac{1}{4} \left(m'''^2 - \frac{9}{4}\right) s = 1,27 \frac{p_v^2}{\delta^2}, \quad (6)$$

avec $p_v = 18$ kg : m².

Les équations (3), (4), (5) et (6) permettent de tirer immédiatement les valeurs de m , m' , m'' , m''' en fonction de s , δ et p_v . Nous verrons qu'en les laissant sous leur forme ci-dessus, on obtient aisément une représentation nomographique.

C) DISTINCTION A FAIRE ENTRE LES FILS ET LES CÂBLES. — On a supposé ci-dessus que l'on avait affaire à une section circulaire. Il n'y a donc rien à reprendre aux résultats précédents en ce qui concerne les fils ; mais pour les câbles, il y a lieu de faire une correction.

Pour une section circulaire de surface s , on a

$$d = \sqrt{\frac{4s}{\pi}} = K\sqrt{s},$$

en posant $K = \sqrt{\frac{4}{\pi}}$.

On admet souvent que, pour les câbles d'au moins 7 brins, on a

$$d = K' \sqrt{s}, \quad \text{avec} \quad K' = \sqrt{\frac{1}{0,75 \pi}}.$$

Dans les applications graphiques, dont il sera question plus loin, nous nous sommes inspiré des données publiées dans l'ouvrage de M. A. Blondel ⁽¹⁾ et des valeurs des coefficients de surcharge indiqués dans le formulaire de De Laharpe ⁽²⁾.

Si l'on pose

$$K' = \sqrt{\frac{1}{n \pi}},$$

cela correspond sensiblement à $n = 0,8$.

3. Equation du changement de conditions.

Calcul de la tension pour la pose. — a) PRINCIPLE. — Le problème à résoudre est la *détermination de la tension à adopter lors de la pose*, afin que cette tension ne dépasse pas, dans les conditions atmosphériques les plus défavorables, la tension maximum que peut supporter le conducteur, compte tenu des coefficients de sécurité imposés.

L'arrêté technique prévoit, comme nous l'avons déjà indiqué, l'examen de *deux hypothèses* relatives aux conditions atmosphériques possibles; cet examen permet de retenir le cas le plus défavorable qui correspond à l'une de ces deux hypothèses déjà défavorables par elles-mêmes.

Pour cela, on suppose que, dans chacune de ces deux hypothèses défavorables, le conducteur est soumis à sa tension maximum; on en déduit alors la tension qu'il faut réaliser lors de la pose (cette pose s'effectuant dans des conditions atmosphériques moyennes). L'hypothèse qui conduit à adopter la tension de pose la plus faible est évidemment la plus défavorable et c'est la tension ainsi trouvée qui doit être réalisée.

b) CHANGEMENT DE CONDITIONS. — Pour résoudre le problème, nous chercherons en premier lieu la *relation liant deux tensions* correspondant à deux conditions atmosphériques distinctes. Nous appellerons cette relation l'*équation du changement de conditions*.

Soient :

L , la longueur du câble entre supports.

l , la portée horizontale.

λ , la distance entre les deux supports.

ω , l'angle de la droite reliant les supports avec l'horizontale.

S , la section en mètres carrés du conducteur.

s , la section en millimètres carrés du conducteur.

f , la flèche du câble (voir notations précédentes).

Q , la tension horizontale.

C , la tension dirigée selon la ligne des supports.

⁽¹⁾ Calcul des lignes aériennes au point de vue mécanique.

⁽²⁾ Notes et formules de l'ingénieur.

θ , la température.

δ , le poids spécifique (en kg : dm³) de conducteur.

ρ , le poids par mètre courant de conducteur.

m , le coefficient de surcharge.

t , tension unitaire (en kg : mm²) lors de la pose.

t_m , tension unitaire (en kg : mm²) maximum.

t_i , avec $i = 1$ ou $i = 2$, les tensions unitaires (en kg : mm²) dans deux hypothèses distinctes.

α , le coefficient de dilatation linéaire du métal du conducteur.

ϵ , l'inverse du module d'élasticité du métal du conducteur (le module d'élasticité étant exprimé en kg : mm²).

t'_i avec $i = 1$ ou $i = 2$ les tensions unitaires en kg : mm² dans les deux hypothèses distinctes.

Envisageons deux conditions (1) et (2); nous avons,

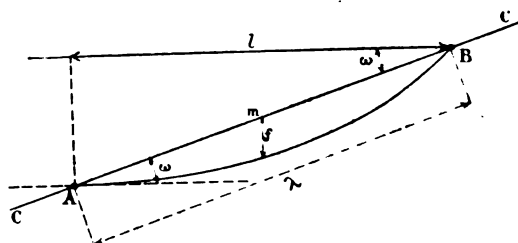


Fig. 4.

en affectant les notations qui précèdent des indices convenables et les deux supports étant supposés fixes :

$$L_1 = \lambda + \frac{8}{3} \frac{f_1^2 l^2}{\lambda^3}, \quad (1)$$

$$L_2 = \lambda + \frac{8}{3} \frac{f_2^2 l^2}{\lambda^3}. \quad (2)$$

Nous confondrons, comme on le fait habituellement, la tension du conducteur aux appuis avec la composante C de cette tension dirigée selon la ligne des appuis AB. Nous supposons que dans les conditions (1) et (2) le câble est soumis à des surcharges, les coefficients correspondants étant m_1 et m_2 .

Nous aurons alors

$$C_1 = \frac{1}{\cos \omega} \frac{m_1 \rho l^2}{8 f_1}, \quad (3)$$

$$C_2 = \frac{1}{\cos \omega} \frac{m_2 \rho l^2}{8 f_2}. \quad (4)$$

En effectuant divers calculs usuels ⁽¹⁾, on arrive à

⁽¹⁾ Dans le changement de conditions, la longueur du conducteur se modifie par suite de la variation de température, d'une part, et à l'élasticité du métal, d'autre part.

On aura donc

$$L_2 - L_1 = \alpha (t_2 - t_1) L_1 + \epsilon 10^{-6} (t_2 - t_1) L_1 \quad (5)$$

(équation dans laquelle $t_2 = \frac{C_2}{S}$ et $t_1 = \frac{C_1}{S}$).

En se reportant aux équations (1) et (2), on a, d'autre

l'équation connue

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \varepsilon(l'_2 - l'_1) = l^2 \cos^2 \omega \frac{\delta^2 10^{-6}}{2.4} \left[\frac{m_2^2}{l_2^2} - \frac{m_1^2}{l_1^2} \right].$$

Telle est la forme la plus générale de la relation du changement de conditions.

Or, comme nous l'avons exposé précédemment, l'inconnue est la valeur l de la tension de pose, la tension part,

$$L_2 - L_1 = \frac{8}{3} \frac{l^2}{\lambda^3} [f_2^2 - f_1^2]. \quad (6)$$

Or, d'après (3),

$$f_1 = \frac{1}{\cos \omega} \frac{m_1 p l^2}{8 C_1} = \frac{1}{\cos \omega} \frac{m_1 p l^2}{8 S l_1},$$

et, d'après (4),

$$f_2 = \frac{1}{\cos \omega} \frac{m_2 p l^2}{8 C_2} = \frac{1}{\cos \omega} \frac{m_2 p l^2}{8 S l_2},$$

Or, d'autre part,

$$p = S \delta 10^3 = s \delta 10^{-3}, \quad (7)$$

ce qui donne pour les expressions précédentes

$$f_1 = \frac{1}{\cos \omega} \frac{m_1 l^2}{8 l_1} \delta 10^3,$$

$$f_2 = \frac{1}{\cos \omega} \frac{m_2 l^2}{8 l_2} \delta 10^3.$$

En portant ces valeurs dans l'équation (6), on obtient

$$L_2 - L_1 = \frac{1}{\cos^2 \omega} \times \frac{l^6}{2.4 \lambda^3} \delta^2 10^6 \left[\frac{m_2^2}{l_2^2} - \frac{m_1^2}{l_1^2} \right].$$

Comme, d'autre part, $l = \lambda \cos \omega$

$$L_2 - L_1 = \lambda^3 \cos^4 \omega \frac{\delta^2 10^6}{2.4} \left[\frac{m_2^2}{l_2^2} - \frac{m_1^2}{l_1^2} \right].$$

En désignant par l'_1 et l'_2 les tensions unitaires en kilogrammes par millimètre carré, on a

$$l_1 = l'_1 10^6, \text{ et } l_2 = l'_2 10^6.$$

L'expression précédente devient

$$L_2 - L_1 = \lambda^3 \cos^4 \omega \frac{\delta^2 10^{-6}}{2.4} \left[\frac{m_2^2}{l_2'^2} - \frac{m_1^2}{l_1'^2} \right]. \quad (8)$$

En comparant les équations (5) et (8), on a

$$L_1 [\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \varepsilon(l'_2 - l'_1)] = \lambda^3 \cos^4 \omega \frac{\delta^2 10^{-6}}{2.4} \left[\frac{m_2^2}{l_2'^2} - \frac{m_1^2}{l_1'^2} \right].$$

Or, L_1 est très sensiblement égal à λ et l'on peut écrire en divisant les deux membres par L_1

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \varepsilon(l'_2 - l'_1) = \lambda^2 \cos^4 \omega \frac{\delta^2 10^{-6}}{2.4} \left[\frac{m_2^2}{l_2'^2} - \frac{m_1^2}{l_1'^2} \right].$$

ou enfin, puisque $l = \lambda \cos \omega$,

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \varepsilon(l'_2 - l'_1) = l^2 \cos^2 \omega \frac{\delta^2 10^{-6}}{2.4} \left[\frac{m_2^2}{l_2'^2} - \frac{m_1^2}{l_1'^2} \right]. \quad (9)$$

maximum l_m étant supposée réalisée dans chacune des hypothèses défavorables envisagées.

Nous supposons que la condition (1) correspond à chacune des hypothèses défavorables que l'on suppose réalisées successivement et que la condition (2) est celle qui est réalisée pour la pose.

Nous supposons, en outre, que la pose est effectuée sous des conditions atmosphériques moyennes, sans vent, neige ou verglas, ce qui nous donne les simplifications :

$$l'_1 = l_m, \quad l'_2 = l, \quad m_2 = 1.$$

Posons de plus $\theta_2 = \theta$ (température pendant la pose), $l \cos \omega = l'$ et $m_1 = m$. Si nous portons ces valeurs dans la relation du changement de conditions et si nous ordonnons par rapport à l'inconnue l , nous obtenons l'équation qu'il s'agit de résoudre :

$$l^3 + \left[\frac{l^4 m^2}{l_m^2} \cdot \frac{\delta^2 10^{-6}}{2.4 \varepsilon} + \frac{\alpha}{\varepsilon} (\theta - \theta_1) - l_m \right] l^2 - \frac{\delta^2 10^{-6}}{2.4 \varepsilon} l'^2 = 0, \quad (10)$$

équation qui est de la forme

$$l^3 + A l^2 + B = 0, \quad (11)$$

et que l'on peut résoudre par approximations successives.

Nous verrons plus loin comment on peut se dispenser de ces longs calculs.

c) FORME NUMÉRIQUE DE L'ÉQUATION (10) DANS LE CAS DU CUIVRE ET DE L'ALUMINIUM. — 1. Dans le cas des conducteurs en cuivre, nous prendrons

$$\delta = 8.91,$$

$$\varepsilon = \frac{1}{13\,000},$$

$$\alpha = 0.000017.$$

L'équation (10) s'écrit alors

$$l^3 + \left[0.0424 \frac{l^4 m^2}{l_m^2} + 0.218 (\theta - \theta_1) - l_m \right] l^2 - 0.0424 l'^2 = 0.$$

2. Dans le cas des conducteurs en aluminium, nous prendrons

$$\delta = 2.7,$$

$$\varepsilon = \frac{1}{6\,750}.$$

$$\alpha = 0.000023.$$

L'équation (10) s'écrit alors

$$l^3 + \left[0.002 \frac{l^4 m^2}{l_m^2} + 0.155 (\theta - \theta_1) - l_m \right] l^2 - 0.002 l'^2 = 0.$$

d) CAS PARTICULIER DES APPUIS DE NIVEAU. — Le cas le plus important et le plus fréquent est celui des appuis de niveau pour lequel on a

$$\begin{aligned}\omega &= 0, \\ l &= l, \\ C &= Q,\end{aligned}$$

et la tension de pose cherchée est la valeur unitaire de la tension dans la section du conducteur où cette tension est horizontale (point le plus bas).

e) PORTÉE CRITIQUE. — Nous avons vu que les deux hypothèses à envisager étaient :

1° L'hypothèse (a) ou hypothèse d'été, ou encore hypothèse des grands vents.

2° L'hypothèse (b) ou hypothèse d'hiver, ou hypothèse des vents faibles.

Comme, de l'examen de ces hypothèses, on déduit une valeur de la tension de pose t par la résolution de l'équation (11) et que l'on choisit ensuite la valeur la plus faible de t , on peut chercher au préalable laquelle des deux hypothèses il y a lieu seulement d'envisager.

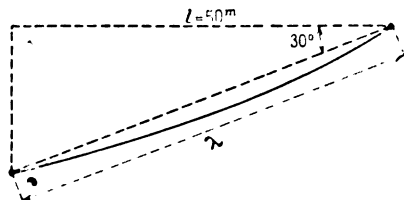


Fig. 5.

1. Soit, pour une portée l' donnée, A_a la valeur que prend le coefficient A de l'équation (11) quand on envisage l'hypothèse (a), c'est-à-dire quand

$$m = m_a,$$

et

$$\theta_1 = \theta_{1a}.$$

2. Soit A_b la valeur que prend le même coefficient A quand on envisage l'hypothèse (b), avec $m = m_b$ et $\theta_1 = \theta_{1b}$.

B reste le même dans les deux cas, ainsi que, par hypothèse, l' , t_m , θ et δ .

Les deux équations à résoudre sont

$$l'^3 + A_a l'^2 + B = 0, \quad (12)$$

$$l'^3 + A_b l'^2 + B = 0. \quad (13)$$

Le cas limite a évidemment lieu quand ces deux équations donnent la même valeur pour la tension de pose, autrement dit quand les hypothèses (a) et (b) sont également défavorables. Ceci a lieu quand les deux équations ont une racine commune, ce qui ne peut avoir lieu que si

$$A_a = A_b.$$

En développant cette égalité, on en tire finalement pour l' une valeur l'_c que nous appellerons la portée critique et qui est donnée par les formules équivalentes

$$(I) \quad l'_c = \sqrt{\frac{2,4 \alpha (\theta_{1a} - \theta_{1b})}{m_a^2 - m_b^2}} \times \frac{10^3 t_m}{\delta},$$

ou

$$(II) \quad l'_c = \sqrt{\frac{2,4 \alpha (\theta_{1a} - \theta_{1b})}{m_a^2 - m_b^2}} \times \frac{s}{p} t_m,$$

ou, si l'on ne tient compte dans les coefficients de surcharge que des pressions unitaires du vent, comme l'indique d'ailleurs l'arrêté technique et si l'on désigne par p_{va} et p_{vb} ces pressions dans l'hypothèse (a) et dans l'hypothèse (b)

$$(III) \quad l'_c = \sqrt{\frac{2,4 \alpha (\theta_{1a} - \theta_{1b})}{p_{va}^2 - p_{vb}^2}} \times 10^3 \frac{s t_m}{d}.$$

(D'après l'arrêté technique, on a d'ailleurs $p_{va} = 72$ kg par mètre carré de surface diamétrale et $p_{vb} = 18$ kg par mètre carré de surface diamétrale).

Remarque. — La formule (I) peut encore s'écrire

$$(I') \quad l'_c = K \frac{t_m}{\delta},$$

(K étant une constante pour un conducteur de section donnée, de métal donné et pour une région donnée).

La formule (II) peut s'écrire également

$$(II') \quad l'_c = K' \frac{s t_m}{p}.$$

(K' étant une nouvelle constante analogue à K).

La formule (III) peut s'écrire

$$(III') \quad l'_c = K'' \frac{s t_m}{d},$$

(K'' étant une constante pour une région donnée).

K , K' et K'' sont des constantes que l'on peut alors calculer a priori selon la région (K'') ou selon la région et les sections et le métal employé (K , K').

La valeur critique de la portée étant trouvée, il s'agit de voir dans quel intervalle chacune des hypothèses s'applique. Pour cela considérons les équations (12) et (13) qui peuvent s'écrire

$$l_a^2 (l_a + A_a) = -B, \quad (12')$$

$$l_b^2 (l_b + A_b) = -B, \quad (13')$$

équations qui sont des identités si l_a et l_b désignent dans chaque égalité l'une des racines, la racine positive (l'), par exemple, racine qui d'ailleurs seule nous occupe.

(1) D'après le théorème de Descartes, l'équation générale (11) a une racine positive et une seule, car $B < 0$ et on a toujours une variation quel que soit le signe de A .

Si $A_a = A_b$, on a $t_a = t_b$, c'est le cas limite déjà étudié.

Si $A_a > A_b$, on a $t_a < t_b$, ce qui correspond à $l' > l'_c$.

Si $A_a < A_b$, on a $t_a > t_b$, ce qui correspond à $l' < l'_c$.

Donc, si $l' > l'_c$ c'est l'hypothèse (a) qui est seule à envisager ; si $l' < l'_c$, c'est l'hypothèse (b) qui est seule à envisager.

4. Marche rationnelle des calculs. — 1. On calcule en premier lieu, si l'on en a besoin, le poids p par mètre courant de conducteur, à l'aide de la formule (1).

2. On calcule ensuite le coefficient de surcharge dans chacune des hypothèses (a) et (b) à l'aide des équations (3), (4), (5) et (6).

3. On calcule ensuite (ce n'est pas absolument indispensable) la portée critique.

4. On résout l'équation (10) du changement de conditions par la méthode des approximations successives ou, mieux, par une méthode nomographique que nous indiquerons dans un prochain article. Si l'on a calculé la portée critique, il suffit d'envisager l'une des deux hypothèses (a) ou (b) selon la valeur de la portée l' que l'on se propose. On obtient la tension de pose t .

5. Avec la tension de pose, on a les éléments nécessaires, si la pose se fait à l'aide d'un palan avec dynamomètre. Si l'on effectue la pose en donnant au câble la flèche qu'il doit prendre dans les conditions de pose, il y a lieu de calculer au préalable cette flèche de pose. (Dans ce cas, on a supposé qu'il n'y avait pas de surcharge). On tire cette valeur de la flèche à donner pen-

dant la pose, des formules (5) et (6) : la formule (5) dans le cas des supports de niveau, et la formule (6) dans le cas des supports situés à des niveaux différents).

Mais il est nécessaire, d'autre part, de calculer la flèche maximum, afin d'en déduire la hauteur à donner aux supports. Cette flèche maximum correspond à la température la plus élevée de la région. Connaissant la tension à une température donnée, celle de la pose, par exemple, l'équation du changement de conditions donne la tension à la température maximum envisagée. On en déduit alors la flèche à l'aide des mêmes formules que précédemment. (Le vent n'a pas à intervenir, car, s'il produit une tension supplémentaire sur les conducteurs, augmentant la flèche, il ne les rapproche pas du sol, à cause de la déviation qu'il leur fait subir et la flèche à considérer est toujours verticale). Connaissant la flèche maximum, on en déduit, en appliquant, d'autre part, les prescriptions réglementaires techniques, la hauteur à donner aux supports. Il peut toutefois être utile de calculer la flèche véritable correspondant à une surcharge quelconque. Dans ce cas, le facteur p de la formule (poids par mètre courant de conducteur) doit être multiplié par le coefficient de surcharge m .

6. Connaissant la valeur de la flèche lors de la pose, on en déduit la longueur du câble dans les mêmes conditions, par la formule (7).

A. JOITEL,

Ingénieur des Constructions civiles,
Ancien élève de l'Ecole nationale
des Ponts et Chaussées.

Revues, analyses et informations

Sur les diagrammes circulaires des systèmes triphasés déséquilibrés et la définition de leur degré de déséquilibre (1).

Dans une note antérieure, publiée en juillet 1914 (2), M. Louis G. Stokvis avait expliqué que l'on peut remplacer un système triphasé déséquilibré par deux systèmes équilibrés, l'un tournant avec le champ excitateur (système synchrone I_s), l'autre tournant en sens inverse (système inverse I_i).

C'est le système synchrone qui représente la marche normale de la machine et celle-ci absorbe ou développe le même couple que si elle débitait ou absorbait le courant du système symétrique I_s . Le raisonnement de l'auteur était le suivant :

Soient I_1, I_2, I_3 , les trois courants donnés dans chacune des trois phases (fig. 1), ils satisfont à la relation

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0. \quad (1)$$

On peut considérer le courant I_1 comme la superposition des courants $-I_2$ et $-I_3$, de sorte que le système triphasé

déséquilibré se trouve remplacé par deux systèmes monophasés, l'un formé par le courant I_2 circulant dans la phase 2 et $-I_2$ dans la phase 1, l'autre formé par le courant I_3 dans la phase 3 et $-I_3$ dans la phase 1.

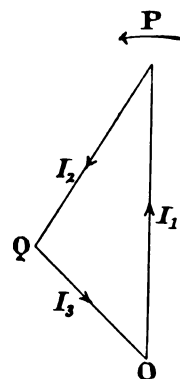


Fig. 1.

Considérons (fig. 2) le courant $-I_2$ qui circule dans la phase 1 comme formé de deux composantes égales en ampli-

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 26 mai 1922, t. CLXXIV, p. 1418-1420.

(2) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 6 juillet 1914, t. CLIX, p. 46-49.

tude et déphasées l'une I'_{s1} de $\frac{\pi}{6}$ en avant et l'autre I'_{s2} de $\frac{\pi}{6}$ en arrière de la direction $-I_2$.

Considérons de même le courant I_2 circulant dans la

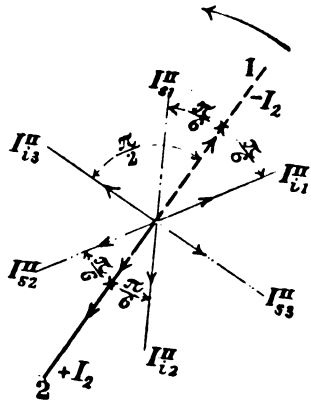


Fig. 2 a.

phase 2 comme formé de deux composantes égales en amplitude, l'une I'_{s2} déphasée de $\frac{\pi}{6}$ en arrière, l'autre I''_{s2} de $\frac{\pi}{6}$ en avant de la direction de I_2 et ajoutons dans la phase 3 deux courants égaux et de signe contraire, l'un I'_{s3} déphasé de $\frac{\pi}{2}$ en

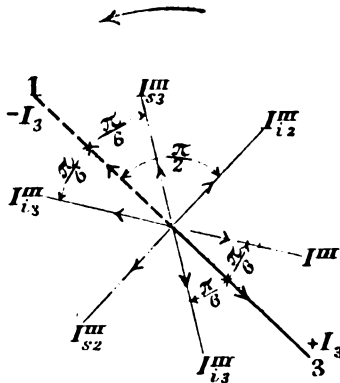


Fig. 2 b.

avant de I_3 , l'autre I''_{s3} de $\frac{\pi}{2}$ en arrière de I_3 , d'amplitude égale à celle de l'une des quatre composantes obtenues précédemment.

Nous avons ainsi, dans les trois phases, deux systèmes de courants triphasés équilibrés de même amplitude $\frac{I_2}{\sqrt{3}}$: l'un

$I'_{s1}, I'_{s2}, I'_{s3}$, dans lequel les courants sont déphasés dans le même sens que les courants déséquilibrés donnés et que nous appellerons système *synchrone* ; l'autre $I''_{s1}, I''_{s2}, I''_{s3}$, dans lequel les courants sont décalés en sens inverse et que nous appellerons système *inverse*. De même, le deuxième système monophasé formé par le courant $-I_1$ circulant dans la phase 1, et $+I_3$ circulant dans la phase 3, est équivalent à deux systèmes de courants triphasés équilibrés, l'un formant un deuxième système synchrone, l'autre un deuxième système inverse.

Dans une phase quelconque, 1 par exemple, il y a deux courants inverses I'_{i1} et I''_{i1} provenant de chacun des systèmes inverses précédents. Par définition le courant *inverse* est la somme des deux courants inverses I'_{i1} et I''_{i1} .

Traduisons le raisonnement précédent en notation vectorielle : l'un des systèmes monophasés I_1 et $-I_2$ donne, dans la phase 1 un courant inverse I'_{i1} qu'on peut écrire, en posant $\sqrt{-1} = j$

$$I'_{i1} = -\frac{I_2}{2} \left[1 - \frac{j}{\sqrt{3}} \right];$$

l'autre système monophasé donne, dans la même phase 1, un courant inverse

$$I''_{i1} = -\frac{I_3}{2} \left[1 + \frac{j}{\sqrt{3}} \right].$$

Le courant inverse I_{i1} est donc

$$I_{i1} = I'_{i1} + I''_{i1} = -\frac{I_2}{2} \left[1 - \frac{j}{\sqrt{3}} \right] - \frac{I_3}{2} \left[1 + \frac{j}{\sqrt{3}} \right].$$

Éliminant I_2 par l'équation (1) et multipliant par $j\sqrt{3}$, on obtient

$$j I_{i1} \sqrt{3} = I_3 + I_1 \left[\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right].$$

Or

$$I_1 \left[\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

représente le vecteur I_1 déphasé de $\frac{\pi}{3}$ dans le sens des avances. Par conséquent, au facteur $j\sqrt{3}$ près, le courant inverse dans la phase 1 est représenté par la résultante du courant I_3 et du courant I_2 avancé de $\frac{\pi}{3}$. Or le système inverse crée un champ tournant en sens inverse du champ synchrone ; par suite, le champ tournant créé par le système inverse produit un harmonique 3 comme dans les alternateurs monophasés (1).

Ce champ étant proportionnel au courant inverse, l'harmonique 3 est également proportionnel au courant inverse et l'amplitude de ce dernier peut lui servir de mesure.

Toutes les combinaisons des courants déséquilibrés don-

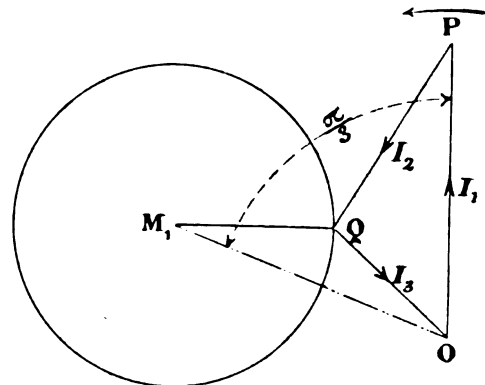


Fig. 3.

nant le même harmonique 3 auront un courant inverse de même amplitude.

Si l'on considère le diagramme (fig. 3) donnant le courant inverse, on voit aisément que, si le courant I_1 dans la

(1) BLOCH, *Synchronous Motor*, p. 255.

phase 1 reste constant, le point M obtenu en avançant le vecteur I_1 de $\frac{\pi}{3}$ est fixe.

Si l'on veut que le courant inverse garde une amplitude constante, l'extrémité Q du vecteur I_3 se meut sur un cercle de centre M_1 . Le sommet du triangle des courants déséquilibrés qui donnent naissance à un même harmonique 3 et dont I_1 est pris comme base constante se meut sur le même cercle.

Par un raisonnement analogue au précédent, M. Stokvis, dans sa nouvelle note (1), obtient l'expression

$$jI_{s1}\sqrt{3} = -I_3 - I_1 \left[\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right],$$

dans laquelle I_{s1} représente le courant synchrone circulant dans la phase 1.

Reprenant l'expression obtenue précédemment

$$jI_{i1}\sqrt{3} = I_3 + I_1 \left[\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right],$$

dans laquelle I_{i1} représente le courant inverse passant dans la phase 1, on peut obtenir (fig. 4) le courant synchrone I_{s1}

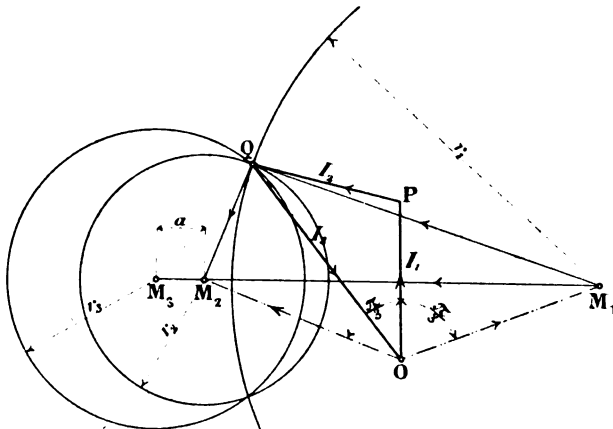


Fig. 4.

(au facteur $j\sqrt{3}$ près) comme la résultante du courant $-I_3$ et du courant $-I_1$ retardé de $\frac{\pi}{3}$.

On construit donc

$$M_1O = -I_1 \left[\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right].$$

L'auteur avait obtenu le courant inverse I_{i1} (au facteur $j\sqrt{3}$ près) comme la résultante de I_3 et du courant I_1 avancé de $\frac{\pi}{3}$. On fait donc

$$OM_2 = +I_1 \left[\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right].$$

Considérons maintenant le courant I_1 fixe, pour servir de vecteur de référence. En avançant ce vecteur de $\frac{\pi}{3}$ ou en le reculant du même angle, les points M_1 et M_2 devront également rester fixes.

(1) Séance du 29 mai 1922.

Nous obtenons ainsi les relations

$$M_1Q = -I_3 + M_1O = -I_3 - I_1 \left[\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right] = j\sqrt{3}I_{s1}.$$

$$QM_2 = +I_3 + OM_2 = +I_3 + I_1 \left[\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right] = j\sqrt{3}I_{i1},$$

$$M_1M_2 = \dots\dots\dots = j\sqrt{3}I_{i1}.$$

Faisons maintenant trois hypothèses distinctes sur les conditions de fonctionnement :

1° Posons la condition que le courant synchrone reste constant, ce qui revient à dire : supposons la constance du couple (1). Alors il est évident que le point Q se meut sur un cercle de centre M_1 et de rayon $M_1Q = \sqrt{3}I_s = r_1$.

2° Posons la condition que le courant inverse reste constant, ce qui revient à dire : exigeons que les harmoniques 3 développés gardent une amplitude constante. L'exposé de la note précédente a montré que le point Q se meut alors sur un cercle de centre M_2 et de rayon $M_2Q = \sqrt{3}I_i = r_2$.

3° Définissons maintenant le degré de déséquilibre ϵ comme le quotient de la composante synchrone (c'est-à-dire utile) pour la composante inverse (c'est-à-dire nuisible) : donc

$$\epsilon = \frac{I_s}{I_i} = \frac{jI_s\sqrt{3}}{jI_i\sqrt{3}} = \frac{QM_1}{QM_2}.$$

Posons la condition que ϵ soit constant, ce qui revient à dire : cherchons toutes les positions de Q qui donnent lieu au même degré de déséquilibre. En langage géométrique, cela revient à dire que nous cherchons le lieu géométrique du sommet d'un triangle M_1M_2Q dont la base est constante ($M_1M_2 = j\sqrt{3}I_1$) et dont le quotient des deux côtés est également constant ($\frac{QM_1}{QM_2} = \epsilon$).

Ce lieu géométrique est un cercle dont le rayon est

$$r_3 = M_1M_2 \left(\frac{\epsilon}{\epsilon^2 - 1} \right),$$

et dont le centre se trouve sur la droite M_1M_2 à la distance a de M_2 telle que

$$a = M_1M_2 \left(\frac{1}{\epsilon^2 - 1} \right).$$

En résumé, pour un système triphasé déséquilibré, on peut tracer trois diagrammes circulaires :

Un cercle d'équivalence de couple harmonique 3 déséquilibrage ayant pour centre le point M_1 et pour rayon $\sqrt{3}I_s$ pour $\sqrt{3}I_i$ pour $M_1M_2 \left(\frac{\epsilon}{\epsilon^2 - 1} \right)$.

Amortissement des oscillations des résonateurs de télégraphie sans fil (2).

Les appareils récepteurs de télégraphie sans fil comportant une antenne associée à un amplificateur à résonance donnent souvent naissance à des phénomènes complexes.

M. de BELLESCIZE en a recherché les causes et a remis à ce sujet deux plis cachetés à l'Académie des Sciences (3) ; il s'était proposé d'étudier ce qui se passe lorsque l'antenne est soumise, soit à une onde d'amplitude et de fréquence constante, soit à une onde parasite et apériodique.

(1) Cette propriété découle directement d'un théorème de M. Blondel (voir son ouvrage *Synchronous Motor*).

(2) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 6 juin 1922, t. CXXXIV, p. 1457-1460.

(3) Plis cachetés n° 8851 du 21 mars 1921 et 8923 du 10 octobre 1921.

Dans une nouvelle note, résumant les précédentes, il déclare que l'expérience a justifié ses prévisions dans le premier cas, mais non complètement dans le second.

Considérons un amplificateur comportant n étages de résonance, l'antenne tenant lieu du premier étage. L'étage de rang p est un circuit fermé comprenant une self-induction L_p , une capacité C_p , une résistance R_p .

Soit

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_p C_p}}$$

sa pulsation propre, δ_p son décrement logarithmique, v_p la différence de potentiel totale aux bornes de C_p .

Ces étages sont reliés par des lampes à trois électrodes.

L'antenne est supposée soumise, d'une part, à la force électromotrice $E \sin \omega t$ des ondes hertziennes, d'autre part, à une force électromotrice de réaction due à l'induction du courant de plaque de la $n^{\text{ème}}$ lampe; de telles réactions peuvent être voulues, mais, la plupart du temps, elles existent sans qu'il soit possible de les éviter.

$v_1 = V \sin(\omega t + \varphi)$ désignant la différence de potentiel exercée par l'antenne sur la première lampe, la force électromotrice de réaction peut être représentée par $K V \sin(\omega t + \varphi + \psi)$, tout au moins tant que les lampes travaillent dans la partie droite de leur caractéristique.

On a donc l'équation

$$E \sin \omega t + K V \sin(\omega t + \varphi + \psi) = C_1 L_1 \frac{d^2 v_1}{dt^2} + R_1 C_1 \frac{dv_1}{dt} + v_1,$$

dont la solution graphique conduit à l'expression

$$V = \frac{E}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2 - K \cos \psi\right]^2 + \left[\frac{\delta_1}{\pi} \frac{\omega}{\omega_1} - K \sin \psi\right]^2}}.$$

Lorsque la condition

$$1 - \left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2 = K \cos \psi$$

sera remplie, il y aura résonance, la réactance de l'antenne étant annulée par la composante dérivée de la réaction; il faut aussi faire en sorte que le terme

$$\frac{\delta_1}{\pi} \frac{\omega}{\omega_1} - K \sin \psi$$

ait une valeur faible, mais positive.

La différence de phase ψ est la somme de deux termes

$$\psi_m \text{ et } \sum_{p=1}^n (\xi_p);$$

le premier, ψ_m , représente le déphasage généralement voisin de $\pm \frac{\pi}{2}$, qui existerait si tous les résonateurs étaient accordés sur l'onde à recevoir; le second est la somme des déphasages dus aux désaccords des circuits successifs et l'on a

$$\tan \xi_p = \frac{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2}{\frac{\delta_p}{\pi} \frac{\omega}{\omega_p}}.$$

De même, le rapport K est le produit

$$\frac{K_m}{\sqrt{(1 + \omega^2 \xi_1^2) \dots (1 + \omega^2 \xi_n^2)}}$$

de deux termes; l'un K_m , valeur de ce rapport si tous les circuits étaient accordés; l'autre, affaiblissements dus aux désaccords.

Le fonctionnement du récepteur peut être étudié graphiquement comme suit: Représentons le potentiel v_1 en grandeur et phase par un vecteur Ov_1 que nous prendrons comme origine, et la fonction K par un autre vecteur K de phase ψ . Lorsque le rapport $\frac{\omega}{\omega_1}$ varie, le lieu des extrémités du vecteur K est la courbe α ; si l'on faisait varier l'importance de la force électromotrice de réaction, c'est-à-dire K_m , le lieu décrit serait une autre courbe $\alpha_1 \alpha_2 \dots$ homothétique de α par rapport au point O .

Considérons maintenant un nouveau vecteur numériquement égal à

$$1 - \left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2$$

et faisant avec le vecteur Ov un angle ψ ; le lieu de son extrémité sera la courbe β , et il y aura résonance pour les points où la courbe β rencontrera l'une des courbes α .

Traçons la droite xx parallèle au vecteur Ov_1 et distante de lui d'une longueur $\frac{\delta_1}{\pi}$.

En un point de fonctionnement B , le décrement total

$$\pi \left(\frac{\delta_1}{\pi} - K \sin \psi \right)$$

du premier résonateur est obtenu en multipliant par π la valeur numérique BD et de la distance du point B à la droite xx .

Le graphique renseigne sur l'importance à donner à la réaction ainsi que sur les désaccords à créer entre la pulsation du signal et celle des divers résonateurs, pour que la réception soit assurée dans de bonnes conditions.

Les points d'intersection des courbes α et β déterminent aussi les pulsations pour lesquelles la différence de potentiel composante (v_r), due à la réaction est en phase avec la différence de potentiel totale v_1 . Cette condition caractérisant

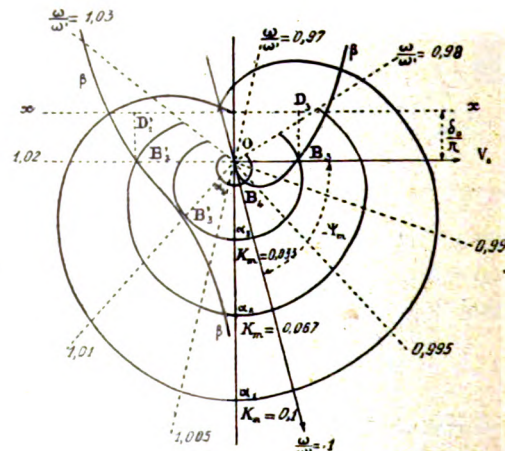


Fig. 1.

un état d'équilibre, les pulsations propres au récepteur doivent correspondre à un ou plusieurs points d'intersection B_1, B_2, \dots du graphique.

D'où les conclusions suivantes que l'expérience vérifie: Si l'un des points B se trouve au-dessus de la droite xx , l'appareil donne naissance à des oscillations entretenues.

Lorsqu'une perturbation est assez énergique pour saturer une ou plusieurs lampes de l'amplificateur, le rapport K diminue: l'oscillation libre s'éteint avec un amortissement élevé et sa fréquence est différente de celle du signal.

SECTION INDUSTRIELLE

Multiplicateur statique de fréquence pour l'obtention industrielle de très hautes fréquences en télégraphie sans fil

On obtient aujourd'hui des courants à haute fréquence pour la télégraphie sans fil avec des arcs, des alternateurs ou des tubes à trois électrodes. Parmi ces trois moyens, les tubes à trois électrodes sont plus particulièrement appropriés pour obtenir des courants de très haute fréquence. M. Latour est parvenu cependant à obtenir ces mêmes fréquences, dans les conditions de bon rendement, avec un multiplicateur statique de fréquence, construit avec un alliage spécial.

On arrive aujourd'hui, avec des alternateurs à haute fréquence, à produire directement des courants dont la fréquence est de l'ordre de 30 000 à 40 000 p : s dans des conditions de bon rendement. On utilise, de préférence, soit des alternateurs homopolaires à grande vitesse périphérique de 250 m : s, soit des alternateurs homopolaires à nombre d'encoches réduit sur le stator, que nous avons antérieurement décrits ⁽¹⁾ et qui ont une vitesse périphérique relativement faible de 150 m : s.

En introduisant une plus grande vitesse périphérique dans les alternateurs, même à nombre d'encoches réduit sur le stator, on peut encore atteindre une fréquence de 50 000 à 60 000 p : s ; mais il ne semble pas que l'on puisse réaliser industriellement, dans de bonnes conditions mécaniques et électriques, des fréquences plus élevées avec des alternateurs à haute fréquence. Il est cependant indispensable d'obtenir des fréquences supérieures, notamment pour les puissances de 5 à 20 kw, si l'on veut concurrencer, avec des machines, les tubes à trois électrodes dont le développement va en croissant.

C'est avec cet objet en vue que nous nous sommes intéressés, depuis plusieurs années déjà, aux multiplicateurs statiques de fréquence (doubleurs, tripleurs etc.) dont le fonctionnement est, comme on le sait, basé sur le phénomène de la saturation des circuits magnétiques.

Avant d'aborder la fabrication de ces appareils, nous avons tenu à disposer d'une substance magnétique qui fut notablement plus avantageuse pour cette application que le fer ou le fer au silicium.

Nous avons d'abord attiré l'attention en mai 1915 (brevet n° 491 18 f) sur l'utilisation, dans la construction des multiplicateurs, de substances magnétiques telles que le nickel qui présentent une courbe de magnétisme correspondant à la courbe de magnétisme du fer tracée à une échelle réduite suivant l'axe des induc-

tions. Ces substances, dans lesquelles le phénomène de la saturation apparaît pour des inductions plus faibles que dans le fer, offrent, en effet, la possibilité d'exploiter ce phénomène de la saturation en ayant recours à des variations d'induction beaucoup moindres qu'avec le fer. Ces variations d'induction deviennent alors plus compatibles, au point de vue des pertes, avec la haute fréquence considérée. Nous avons fait depuis des recherches pour déterminer, dans la série des aciers au nickel, une substance de cette sorte ayant en même temps un faible coefficient hystérétique et une grande résistivité, étant bien entendu que la substance visée devait être assez malléable pour pouvoir être mise sous la forme de tôles de 0,05 à 0,06 mm d'épaisseur (voir brevet n° 510 462 de mai 1919).

M. Guillaume nous ayant confirmé, en mai 1920, certains renseignements, nous avons, avec le concours des Acieries d'Imphy, abouti finalement à un alliage très intéressant que nous désignerons sous le nom d'alliage γ .

Les tôles de 0,05 à 0,06 mm de cet alliage ont été comparées aux meilleures tôles de même épaisseur qui pourraient être produites aujourd'hui pour multiplicateurs en fer au silicium. Les mesures ont été faites au Laboratoire central sous la direction de M. Jouaust ; l'alliage a été considéré à la température de 100°C et les résultats de la comparaison sont les suivants :

COURBE DE MAGNÉTISME. — La figure 1 représente à la fois la courbe de magnétisme de l'échantillon de tôles au silicium (courbe I) et la courbe de magnétisme des tôles de l'alliage γ (courbe II). On remarque immédiatement que la courbe des tôles de l'alliage γ est sensiblement celle de l'échantillon des tôles de fer au silicium ramenée à l'échelle réduite de 0,4 suivant l'axe des inductions. L'échantillon des tôles au silicium considéré présente cependant la particularité d'être relativement peu perméable aux fortes inductions.

HYSTÉRÉSIS. — Nous avons déjà signalé (voir *Radio-Review*, août 1921) que le laminage sous les faibles épaisseurs de 0,05 à 0,06 mm augmente notablement

⁽¹⁾ Les alternateurs à haute fréquence. *R. G. E.*, 12 avril 1919, t. v, p. 557-564. La production des courants à haute fréquence par des machines dynamo-électriques. *Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones*, mars 1921, p. 32 ; *R. G. E.*, 16 juillet 1921, t. x, p. 109-110.

l'hystérésis des tôles. Le coefficient d'hystérésis de l'échantillon des tôles de fer au silicium de 0,05 à 0,06 mm dont la courbe de magnétisme est représentée sur la figure 1, n'est néanmoins que de 0,0014

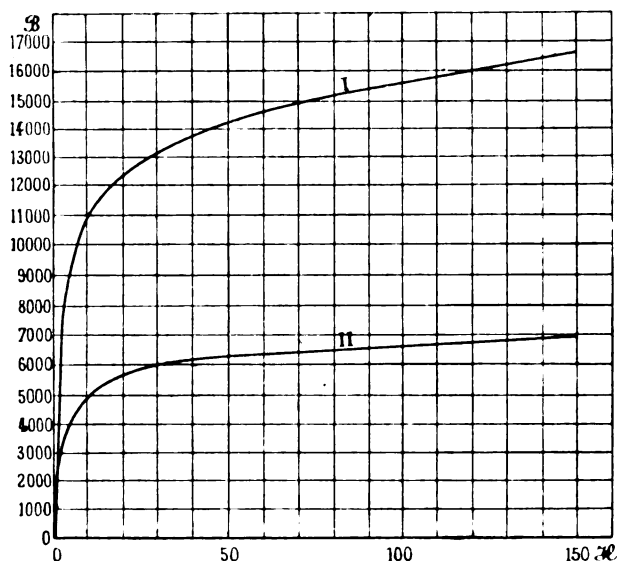


Fig. 1.

pour l'induction de 2600 gauss et de 0,0026 pour l'induction de 17 000 gauss; ces nombres, vu la faible épaisseur des tôles, doivent être considérés comme très faibles. Il arrive cependant que le coefficient d'hystérésis des tôles de 0,05 à 0,06 mm de l'alliage γ est plutôt plus avantageux puisqu'il est de 0,0014 pour l'induction de 7 000 gauss correspondant à la saturation de l'alliage.

RÉSISTIVITÉ. — On connaît les difficultés qu'il y a à laminier sous faible épaisseur des tôles ayant une forte teneur en silicium. La résistivité des tôles de fer au silicium pour l'échantillon considéré est cependant de 45 microhms-centimètre (soit de 50 pour 100 supérieure à celle des meilleures tôles actuellement sur le marché). Or, la résistivité des tôles de l'alliage γ est encore plus élevée : 85 microhms-centimètre.

Aussi, la supériorité des tôles de l'alliage γ sur les meilleures tôles de fer au silicium pour multiplicateurs est considérable. Ces tôles d'alliage γ permettent d'obtenir un bien meilleur rendement aux fréquences très élevées; comme conséquence, elles permettent d'éviter les complications introduites dans la construction des multiplicateurs en vue de l'évacuation d'une quantité de chaleur excessive.

Les pertes par centimètre cube peuvent se calculer d'après les formules que nous avons déjà établies (voir *R. G. E.*, 13 avril 1918). Ce n'est, en réalité, que vers 100 000 p : s que les pertes par courants de Foucault atteignent la valeur des pertes par hystérésis et ceci pour une induction correspondant à la saturation.

Nous avons pu, avec l'alliage γ , affronter le triplage et le quintuplage direct de la fréquence de 33 000 p : s, sans utiliser du courant continu et avec un refroidissement facile de l'appareil multiplicateur. Le principe du triplage, obtenu par la saturation même en courant alternatif, a été décrit en particulier par Maurice Joly. L'apparition de l'harmonique 3 est d'ailleurs courante aujourd'hui dans les transformateurs industriels.

Pour mettre cet harmonique en évidence dans de bonnes conditions de rendement, nous avons eu recours à des montages particuliers.

Nous avons utilisé différents schémas :

Suivant la figure 2, l'alternateur 1 de fréquence f dé-

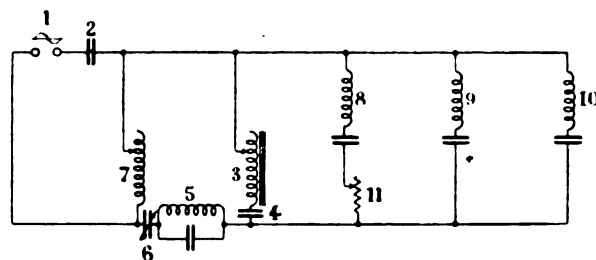


Fig. 2.

bite à travers sa capacité de compoundage 2 sur l'ensemble comprenant : le multiplicateur 3 constitué par une simple bobine de self-induction à noyau magnétique, la capacité 4 équilibrant sensiblement la réactance du multiplicateur pour la fréquence f , le bouchon 5 fermant le passage au courant de la fréquence multiple de f recherchée, la capacité réglable 6. En dérivation sur le multiplicateur 3 et sa capacité de compoundage 4, sont disposés des shunts résonants 8, 9, 10 pour les fréquences multiples développées dans le multiplicateur. Le circuit de la fréquence multiple sur laquelle on entend prélever l'énergie comprend une résistance d'utilisation telle que 11 représentée sur la figure sur la première fréquence harmonique ou harmonique 3 et la self-inductance auxiliaire peut au besoin y être supprimée. Les shunts résonants des autres fréquences successives peuvent être de véritables courts-circuits pour les courants de ces fréquences harmoniques.

En vue d'accélérer la mise en marche du système, c'est-à-dire pour obtenir rapidement le régime à courant fort du système à ferro-résonance représenté par l'ensemble qui vient d'être décrit ⁽¹⁾, on prévoit de réduire, pour le démarrage, le nombre de spires du multiplicateur 3 et de le porter progressivement à sa valeur de régime. En réalité, la stabilité du régime à courant fort demande que la capacité 6 soit inférieure à celle qui donnerait véritablement la résonance. Dans ces conditions, l'ensemble qui vient d'être décrit absor-

⁽¹⁾ Pour les deux régimes possibles à courant faible et à courant fort en ferro-résonance, voir BETHENOD, *La lumière électrique*, 30 novembre 1907; BOUCHEROT, *R. G. E.*, 11 décembre 1920.

bera du courant réactif déphasé en avant. Pour compenser cet effet, on dispose en dérivation sur cet ensemble la self-inductance variable 7 qui absorbe du courant réactif déphasé en arrière. Il arrive ainsi que le courant débité par l'alternateur est inférieur au courant qui traverse le multiplicateur. On peut, dans tous les cas, régler la capacité 2, et la valeur de cette capacité peut différer de celle qui correspond au compoundage exact de l'alternateur pour la fréquence f .

La figure 3 représente un autre montage. L'alternateur débite, cette fois, sur le multiplicateur 3 et le bou-

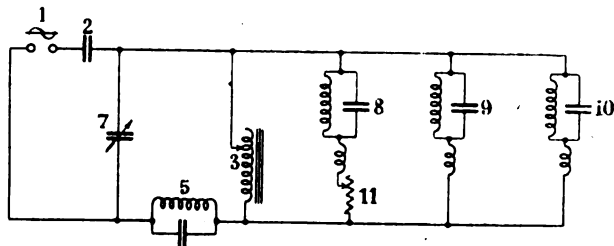


Fig. 3.

chon 5 sans intercalation de capacité d'aucune sorte, de façon à éviter toute indétermination de régime. En dérivation sur le multiplicateur, sont montés une série de bouchons pour la fréquence principale accordée avec des bobines de self-induction en série pour les fréquences harmoniques multiples. Le circuit de la fréquence multiple utilisée comporte la résistance 11; la self-inductance auxiliaire peut au besoin y être supprimée.

L'ensemble prenant, dans ces conditions, du courant réactif déphasé en arrière, on dispose une capacité réglable 7 pour compenser ce courant par un courant réactif déphasé en avant.

On peut supprimer la capacité de compoundage 2 et prévoir le compoundage de l'alternateur par un ajustement approprié de la capacité 7.

La figure 4 représente la photographie d'un appareil capable de donner, par triplage, 12 à 15 kw à 100 000 p : s en partant de 33 300 p : s. Le circuit magnétique comprend seulement 500 tôles de 0,05 à

0,06 mm ayant la forme de couronnes de 89 mm de diamètre extérieur et de 69 mm de diamètre intérieur. Le poids total du circuit magnétique n'est que de 500 g environ. Il y a seulement 30 spires en bande de cuivre

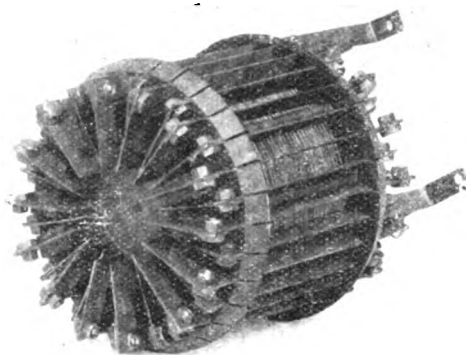


Fig. 4.

nu de 1 mm \times 10 mm donnant facilement passage à un courant de 80 A qui produit la saturation extrême du noyau ($H = 1,75$). La puissance apparente aux bornes de l'appareil est alors de 60 kv-A. Les pertes dans le multiplicateur sont de l'ordre de 1 500 w.

On vérifie sans peine que la puissance d'un appareil croît comme le cube des dimensions. On réaliserait donc la puissance de 120 à 150 kw à 100 000 p : s avec un appareil dont le diamètre extérieur des tôles serait de 18 cm.

Il va de soi que l'on peut tirer de l'énergie sur les circuits des harmoniques successifs : 165 000, 230 000, 300 000 p : s, etc...

On peut donc conclure qu'il n'y a plus aujourd'hui de limite à la fréquence des courants que l'on peut obtenir industriellement par d'autres moyens que des arcs et des tubes à trois électrodes.

Marius LATOUR.

Note pratique sur le calcul de l'élévation de température d'après la variation de résistance

Le paragraphe 50 des règles du Comité électrotechnique français, comme les paragraphes identiques des règles étrangères, présente au premier abord une certaine difficulté d'interprétation. Afin d'éviter tout malentendu, M. Léonard, ingénieur en chef de la Compagnie Thomson-Houston, a demandé à M. P. Girault de rédiger une note explicative que nous reproduisons ici.

I. Rappel de la règle 50. — Le paragraphe 50 (chapitre IV) des règles françaises d'unification du matériel électrique, établies par le Comité électrotechnique français, est rédigé comme suit.

« 50. Coefficient de variation de la résistance du cuivre avec la température. — Dans les mesures de températures par résistance du cuivre, on appliquera les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous, déduites

de la formule $\frac{1}{234,5+t}$ par degré centigrade dans laquelle t est la température initiale de l'enroulement. Ainsi, à une température initiale de $t = 30^{\circ}\text{C}$ correspond un coefficient $\frac{1}{264,5} = 0,00378$.

| Température des enroulements à laquelle est mesurée la résistance initiale. Degrés C | Accroissement relatif de résistance par degré centigrade |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 0 | 0,00427 |
| 5 | 0,00418 |
| 10 | 0,00409 |
| 15 | 0,00401 |
| 20 | 0,00393 |
| 25 | 0,00385 |
| 30 | 0,00378 |
| 35 | 0,00371 |
| 40 | 0,00364 |

Le but poursuivi dans la rédaction du paragraphe 50 est de calculer l'augmentation de température $\Delta_1 = \theta - t$ d'un conducteur par rapport à sa température initiale t en introduisant dans la formule les seules données suivantes :

la résistance R_t à la température initiale t ;
la résistance R à la température finale θ ;
un coefficient de température α , particulier à la température initiale t et qui varie avec cette température. Ce but peut évidemment être réalisé, car, étant admis que la résistance varie linéairement avec la température, la formule exprimant cette variation à partir d'une température initiale quelconque t , conserve toujours la même forme

$$R_\theta = R_t [1 + \alpha_t (\theta - t)]. \quad (1)$$

En effet, soient :

R_0 , la résistance pour $t = 0^{\circ}\text{C}$;

α , le coefficient de température correspondant, lequel est le coefficient de température normalement défini par

$$\alpha = \frac{1}{234,5}. \quad (2)$$

On a

$$R_0 = R_0 \times (1 + \alpha_0), \quad (3)$$

$$R_t = R_0 \times (1 + \alpha t), \quad (4)$$

d'où, en divisant membre à membre

$$\frac{R_\theta}{R_t} = \frac{1 + \alpha_0}{1 + \alpha t}, \quad (5)$$

et en retranchant les dénominateurs des numérateurs

$$\frac{R_\theta - R_t}{R_t} = \frac{\alpha}{1 + \alpha t} (\theta - t). \quad (6)$$

Si l'on pose

$$\alpha_t = \frac{\alpha}{1 + \alpha t}, \quad (7)$$

L'équation précédente (6) peut encore s'écrire

$$R_\theta = R_t (1 + \alpha_t (\theta - t)), \quad (8)$$

qui est bien notre équation (1).

Pour $t = 0$, les équations (7) et (8) donnent bien les équations (2) et (3) respectivement.

II. Calcul de l'élévation de température. — L'élévation de température $\Delta_1 = \theta - t$ au-dessus de la température initiale t se déduit comme suit de l'équation (1)

$$\frac{R_\theta}{R_t} = 1 + \alpha_t (\theta - t),$$

que l'on peut écrire

$$\alpha_t (\theta - t) = \alpha_t \Delta_1 = \frac{R_\theta}{R_t} - 1;$$

d'où

$$\Delta_1 = \frac{1}{\alpha_t} \left(\frac{R_\theta}{R_t} - 1 \right). \quad (9)$$

Cette formule peut encore s'écrire

$$\Delta_1 = \theta - t = \frac{1}{\alpha_t} \left(\frac{R_\theta - R_t}{R_t} \right), \quad (10)$$

ou en posant $\Delta R = R_\theta - R_t$

$$\Delta_1 = \frac{1}{\alpha_t} \frac{\Delta R}{R_t}. \quad (11)$$

C'est sous la forme (10) ou (11) que la formule devra être employée, car en calculant à la règle, on a plus d'exactitude en effectuant la division $\frac{\Delta R}{R_t}$ qu'en effectuant celle $\frac{R_\theta}{R_t}$ et en retranchant ensuite l'unité.

On déduit des équations (10) ou (11) la règle suivante :

RÈGLE. — L'élévation de température $\Delta_1 = \theta - t$ au-dessus de la température initiale (t) s'obtient en divisant l'excès $R_\theta - R_t$ de la résistance finale sur la résistance initiale par cette résistance initiale (R_t) et en multipliant ensuite le rapport ainsi obtenu par l'inverse du coefficient relatif de température α_t correspondant à la température initiale (t). Nous préférons l'emploi de $\frac{1}{\alpha_t}$ à celui de α_t ,

parce que $\frac{1}{\alpha_t}$ s'obtient par une simple addition, comme le montre la formule (12) ci-après. Le coefficient α_t est donné de 5 en 5 degrés centésimaux par le tableau du paragraphe 50; mais, dans tous les cas, il sera préférable de calculer préalablement $\frac{1}{\alpha_t}$ d'après la formule (7) inversée

$$\frac{1}{\alpha_t} = 234,5 + t. \quad (12)$$

EXEMPLE D'APPLICATION. — La résistance initiale d'un enroulement inducteur à la température initiale $t = 18^\circ$ est $R_t = 42,9$ ohms; après un essai d'échauffement, la résistance finale est $R_f = 49,4$ ohms. Quel est l'accroissement de température $\Delta_1 = \theta - t$ par rapport à la température initiale?

L'accroissement de résistance est

$$\Delta R = R_f - R_t = 49,4 - 42,9 = 6,5 \text{ ohms,}$$

L'accroissement relatif de résistance est

$$\frac{\Delta R}{R_t} = \frac{6,5}{42,9} = 0,1517.$$

L'inverse $\frac{1}{\alpha_t}$ du coefficient relatif α_t , pour la température initiale est $\frac{1}{\alpha_t} = 234,5 + 18 = 252,5$.

L'accroissement de température au-dessus de la température initiale est

$$\Delta_1 = \theta - t = \frac{\Delta R}{R_t} \times \frac{1}{\alpha_t} = 0,1517 \times 252,5 = 38,3^\circ\text{C.}$$

REMARQUE. — L'élévation de température Δ_1 recherchée dans un essai d'échauffement est celle au-dessus de la température ambiante finale t'

$$\Delta_2 = \theta - t'.$$

Or, on peut écrire

$$\Delta_2 = \theta - t + t - t',$$

$$\Delta_2 = \Delta_1 + (t - t'). \quad (13)$$

Cette élévation Δ_2 s'obtient donc en ajoutant à l'élévation Δ_1 l'excès de la température initiale sur la température ambiante finale.

NOTA. — On peut employer les formules (10) ou (11) sous la forme modifiée suivante, donnant la température finale

$$\theta = t + \frac{R_f - R_t}{R_t} \times (234,5 + t). \quad (14)$$

Paul GIRAULT.

Application des dispositifs et matériel électrique modernes sur le réseau des tramways Beaucourtois

Dans cette étude, l'auteur donne une courte description, ainsi que les caractéristiques principales du matériel qui a été utilisé pour renouveler l'ancien matériel de la Société des Tramways Beaucourtois. Il insiste particulièrement sur un nouvel appareil indicateur et enregistreur de vitesse.

Introduction. — La Société anonyme des Tramways Beaucourtois exploite actuellement une ligne de tramways qui, d'une part, assure le service des voyageurs, depuis la gare du réseau de chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée jusqu'au village de Beaucourt et, d'autre part, permet de transporter toutes matières brutes ou ouvrées, nécessaires aux usines de la maison Japy frères et C^{ie}.

Le matériel roulant et les machines électriques ayant eu à fournir un service très intense pendant la durée des hostilités, la société s'est vue dans l'obligation de les renouveler entièrement.

Cette ligne, d'une longueur de 3,5 km, à voie unique et à écartement de 1 m, offrait quelques difficultés d'exploitation en raison de son profil en long, comportant des rampes de 9 pour 100 et même de 10 pour 100 (limite de la traction sans crémaillère). Aussi y a-t-il eu lieu d'envisager un matériel un peu spécial.

Sous-station de transformation. — Le courant nécessaire à l'exploitation est fourni par la Société des Forces motrices du Refrain sous forme de courant alternatif triphasé, 50 p. s., 9000 v.

Des transformateurs abaissent la tension à 500 v, 50 p. s. L'ancien matériel nécessaire aux besoins de la traction était composé de groupes convertisseurs triphasés 500 v, continu 550 v; sa puissance étant insuffisante et sa mise en

état très urgente, l'acquisition d'un nouveau matériel fut décidée.

L'emploi de commutatrices fut préconisé et accepté par l'exploitant.

En effet, les avantages de la commutatrice sur les groupes convertisseurs sont de diverses sortes.

Tout d'abord, le prix de premier établissement est beaucoup moins élevé et l'entretien est très simplifié puisqu'il n'y a qu'un seul appareil rotatif au lieu de deux; l'économie réalisée par l'emploi des commutatrices est très élevée; l'encombrement et le poids sont très réduits, ce qui permet dans bien des cas de ne pas modifier les locaux existants; avec la commutatrice, il est possible encore d'améliorer très sensiblement le facteur de puissance général de l'installation sur laquelle elle fonctionne.

C'est un avantage considérable et trop souvent méconnu surtout à l'heure actuelle où tous les réseaux se préoccupent de cette amélioration du facteur de puissance qui procure un gain sensible de puissance utilisable.

Le matériel de cette sous-station, fourni par les Etablissements Japy Frères et C^{ie} (Ateliers de Constructions de Matériel électrique) comprend actuellement deux commutatrices triphasé-continu. Ces commutatrices, dont l'une d'elle est représentée sur la figure 1, ont les caractéristiques suivantes :

a) Côté alternatif. — Puissance absorbée, pour un facteur

de puissance égale à 1 68,5 kv-A ; tension entre phases (hexaphasée, 6 bagues) 380 v ; intensité de courant absorbé, 60 A ; fréquence, 50 p : s ; nombre de pôles, 4 ; vitesse de rotation, 1 500 t : mn.

Les rendements obtenus à chaud ont été : pleine charge, 96,46 pour 100 ; trois quarts de charge, 96,85 pour 100 ; demi-charge, 96 pour 100. La chute de tension à chaud était de 2,8 pour 100, la réactance totale de 17 pour 100 et les pertes à vide, de 560 w.

b) Côté continu. — Puissance utilisable en service continu, 60 kw ; tension aux bornes, 500 v ; intensité de courant débité à pleine charge, 120 A ; surcharge possible pendant deux heures, 25 pour 100.

Les rendements obtenus à chaud ont été : pleine charge, 90 pour 100 ; trois quarts de charge, 89 pour 100 ; demi-charge, 86 pour 100.

Ces commutatrices sont du type à deux paliers rapportés

sur socle commun en fonte ; le graissage des paliers à bain d'huile est assuré au moyen de bagues. L'induit est constitué par des sections interchangeables faites sur gabarit et le collecteur fretté est en cuivre électrolytique avec isolants en micanite.

Les bagues sont exécutées en bronze spécial, et la culasse est en acier coulé magnétique.

Tous les porte-balais sont du type « coulissant » à ressorts de pression réglables ; les balais du type « Marine » sont munis de connexions spéciales. Ceux du côté alternatif sont en matière cupro-graphitique.

La ventilation efficace de toutes les parties de la machine a été spécialement étudiée ; celle des bagues et du collecteur est assurée par des ailettes formant circuit d'air.

Un dispositif amortisseur assure un démarrage facile et un amorçage très franc.

Chacune de ces commutatrices est équipée avec un trans-

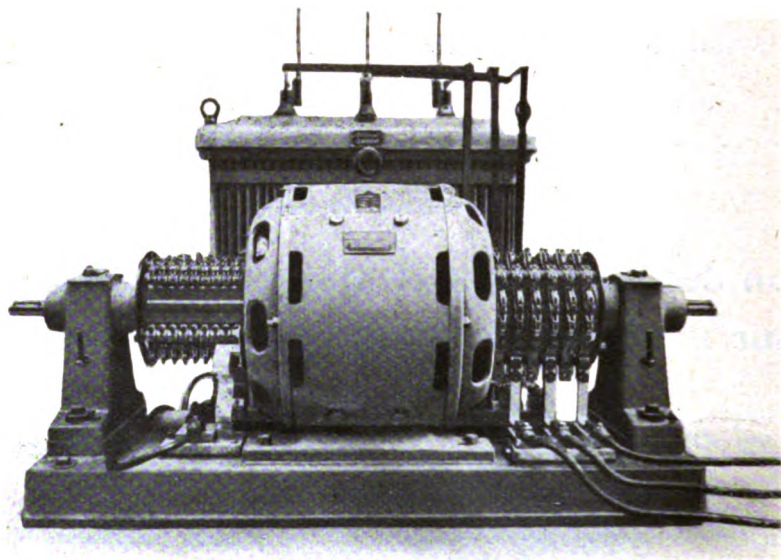


Fig. 1. — Vue de la commutatrice 500 v, 50 p : s, alternatif ; 500 v, 120 A, continu.

formateur réducteur de démarrage et d'alimentation, à bain d'huile.

Matériel de traction. — Le matériel de traction, qui provient des Ateliers de Constructions électriques de Jeumont, comprend deux tracteurs à courant continu pour voie de 1 m. Ces tracteurs, qui pèsent à vide 8,5 t environ, peuvent recevoir une charge utile de 7 t. Ils remorquent, en service normal, un wagon pesant environ 3 t, pouvant recevoir une charge de 5 t.

Chaque tracteur est équipé avec deux moteurs de traction type tramway pour courant continu, 500 v, d'une puissance *unihoraire* de 35 ch, à pôles de commutation, avec simple réduction par engrenages. Ces tracteurs sont prévus avec deux cabines et une plate-forme intermédiaire d'une surface utile de 3 m × 1,50 m.

En tablant sur un coefficient d'adhérence de 0,2, le tracteur chargé à 15,5 t permet le démarrage sur la plus forte rampe de la ligne, soit 97 mm par mètre avec un rayon de courbure de 30 m.

L'effort de traction au démarrage est alors de 2 940 kg et l'intensité du courant pris à la ligne (moteurs en série, courant d'alimentation 500 v) de 95 A environ.

Les tableaux suivants donnent, pour différents profils et en alignement droit, les efforts de traction, la vitesse et l'intensité de courant pris à la ligne.

| RAMPES | EFFORT | VITESSE | INTENSITÉ |
|----------------|-------------|---------------|------------|
| en millimètres | de traction | en kilomètres | du courant |
| par mètre | à la jante | par heure, | pris |
| | | moteurs | à la ligne |
| | | en parallèle | |
| | | sous 500 v | |
| | kilogrammes | | ampères |
| 0 | 117,5 | 18,8 | 30 |
| 20 | 352 | 13 | 59 |
| 40 | 588 | 11,2 | 86 |
| 54 | 752 | 10,4 | 106 |

| RAMPES en millimètres par mètre | EFFORT de traction à la jante | VITESSE en kilomètres par heure, moteurs en série sous 500 v | INTENSITÉ du courant pris à la ligne |
|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| | kilogramme : | | ampères |
| 0 | 117,5 | 9,4 | 15,5 |
| 20 | 352 | 6,5 | 29,5 |
| 40 | 588 | 5,6 | 43 |
| 60 | 825 | 5,1 | 57,5 |
| 80 | 1 060 | 4,7 | 71 |
| 97 | 1 260 | 4,5 | 82,5 |

En résumé, les conditions de marche des tracteurs équipés avec deux moteurs d'une puissance unitaire de 35 ch unitaire tournant à raison de 390 t : mn en charge sont, pour les deux parcours ci-après :

| CHARGE TOTALE | VITESSE COMMERCIALE moyenne | MOTEUR EN | INTENSITÉ du courant absorbé | VITESSE moyenne tous arrêts compris |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|-----------|------------------------------------|----------------------------------------------|
| | km : h | | ampères | km : h |
| <i>Parcours « Gare-Usine des Prés ».</i> | | | | |
| 23,5 t | 7,5 | série | 20 | 10 |
| 23,5 t | 15 | parallèle | 40 | |
| <i>Parcours « Place-Usine principale ».</i> | | | | |
| 23,5 t | 5 | série | 46 | 3 |
| 23,5 t | 10 | parallèle | 92 | (1) |

(1) Cette dernière vitesse est incompatible avec le profil accidenté de la ligne. Sur ce parcours les moteurs ne marcheront donc qu'en série.

CONDITIONS D'EXPLOITATION. — Les moteurs doivent permettre de réaliser, pour une vitesse inférieure à 10 km : h, un freinage électrique obtenu en faisant débiter sur des résistances les moteurs marchant en génératrice, ainsi qu'un freinage magnétique.

En effectuant un trafic utile moyen de 120 tonnes kilomé-

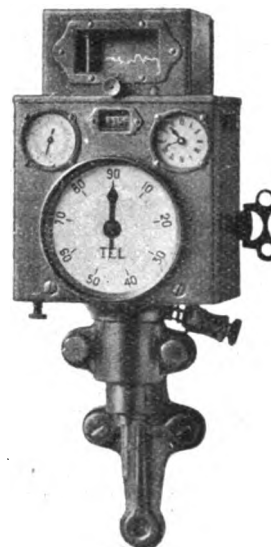


Fig. 2. — Appareil enregistreur Tel, type complet.

triques par heure, pour le parcours Gare-Place et 35 tonnes kilométriques par heure pour le parcours Place-Usine, l'échauffement des moteurs reste dans les limites admissibles, c'est-à-dire de 75°C au-dessus de la température ambiante, même si, lors de chaque descente, on est obligé de freiner électriquement, à condition toutefois de ne pas dé-

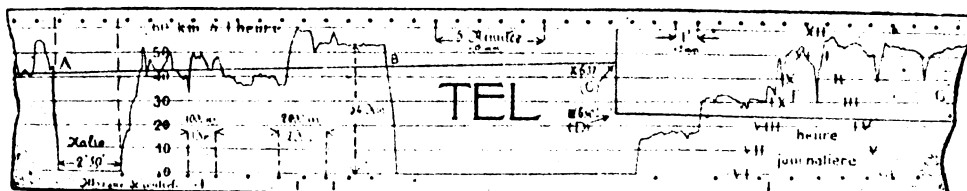


Fig. 3. — Vue photographique d'une bande à diagrammes après inscription.

passer les vitesses moyennes indiquées ci-dessus et d'avoir des arrêts d'environ cinq minutes aux terminus de chaque section.

Appareils de contrôle. — INDICATEURS ET ENREGISTREURS DE VITESSE. — Les tracteurs électriques sont munis, dans chaque cabine de commande, d'un indicateur de vitesse Tel, basé sur le principe chronométrique, indiquant constamment au conducteur la vitesse précise en kilomètres à l'heure à laquelle il conduit le tracteur. L'une des deux cabines de chaque tracteur comporte un indicateur et enregistreur de vitesse Tel type complet et l'autre, un indicateur Tel simple.

L'appareil enregistreur type complet (fig. 2) indique non seulement les vitesses des tracteurs avec une exactitude absolue depuis zéro jusqu'à 18 km : h (vitesse maximum

prévue du véhicule), mais il enregistre en outre, sur une bande à diagramme (fig. 3) :

1° Les variations de vitesse, les coups de freins, les kilomètres parcourus (1 point par kilomètre), la durée des parcours en minutes (1 point par minute), la durée des arrêts jusqu'à 24 heures et plus ;

2° Les kilomètres parcourus par le tracteur, totalisés jusqu'à 100 000 km avec renouvellement ;

3° Les kilomètres des étapes isolées au moyen d'un compteur avec remise à zéro ;

4° L'heure journalière de 6 heures à 12 heures et de 12 heures à 6 heures à l'aide d'une montre 8 jours qui commande un stylet enregistrant l'heure sur la bande à diagramme. Cet enregistrement permet de contrôler, après coup, et à quelque instant que ce soit, l'utilisation du tracteur en marche ou au repos. La montre, 8 jours munie

d'un cadran, indique également l'heure au conducteur.

Pour garantir l'inviolabilité des enregistrements sur le diagramme, le couvercle de l'appareil comporte un dispositif permettant d'y adapter un plomb de contrôle. D'autre part, chaque ouverture de ce couvercle est, en outre, contrôlée par un point allongé piqué à la base du diagramme et produit par le bouton de fermeture du couvercle. Le diagramme des vitesses est rendu infalsifiable par son incrustation dans le papier au moyen d'une pointe de saphir. Les autres éléments de contrôle s'inscrivent par perforation dans le papier.

L'indicateur de vitesse simple (fig. 4) de la deuxième plateforme est destiné à indiquer simplement les vitesses au



Fig. 4. — Appareil enregistreur Tel, type simple.

conducteur ; l'appareil enregistreur de la première plateforme fonctionnant en même temps, ses enregistrements suffisent pour le contrôle complet du véhicule. Lorsque les circonstances le permettent, un seul indicateur-enregistreur peut suffire. Il est alors rendu transportable d'une plate-forme à l'autre au moyen d'une poignée (voir fig. 5).

La commande de ces indicateurs de vitesse est réalisée obligatoirement par un organe en liaison avec l'une des roues de la voiture.

Dans les tracteurs Jeumont, cette commande est constituée

par un pignon engrenant avec la roue dentée motrice calée sur chaque essieu. Ce pignon est entièrement renfermé dans un carter de protection et relié à l'appareil par un arbre flexible protégé lui-même par une gaine.

Les indicateurs de vitesse Tel fonctionnent indifféremment dans les deux sens de marche du tracteur. Ils sont insensibles aux variations de température et indéréglables.

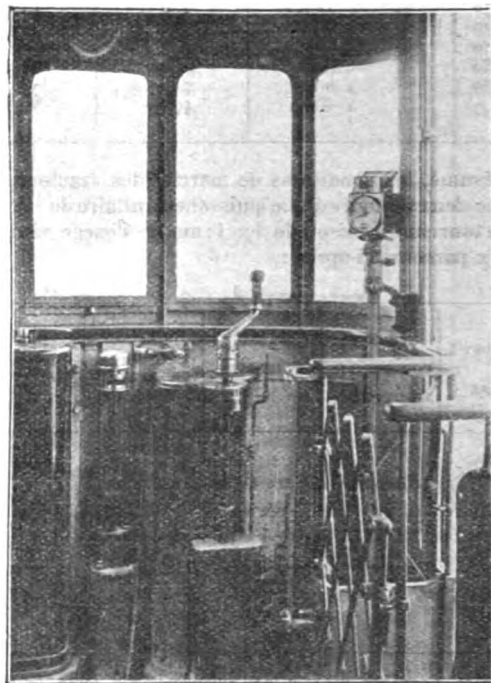


Fig. 5. — Vue de l'appareil Tel, en place dans la cabine du conducteur.

Un seul rouleau de papier à diagramme suffit pour environ 40 heures de marche ininterrompue de la voiture.

L'entretien comprend : le graissage intermittent des organes de commande ; le graissage à raison de un demi-tour de couvercle du graisseur au pied de chaque appareil toutes les 30 ou 40 heures environ de marche ininterrompue de la voiture ; l'extraction des diagrammes de contrôle ; enfin, le placement du rouleau de papier à diagramme.

RENÉ VAN MUYDEN,
Ingénieur.

Revue, analyses et informations

Appareil destiné à l'étude des vibrations produites dans les édifices ⁽¹⁾.

Cet appareil, envisagé plus spécialement pour l'étude des vibrations produites par le passage des véhicules, est susceptible d'être utilisé pour l'étude d'autres vibrations comme, par exemple, celles que produit, dans un édifice, une machine

⁽¹⁾ P. PRACHE. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, mars 1922, t. CXXIV, p. 177-186, 4 000 mots, 7 fig.

ou un moteur en fonctionnement. L'auteur indique d'abord sommairement l'importance, pour cette étude, de la connaissance des accélérations ⁽²⁾. En pratique, en effet, les éléments vitesse et amplitude présentent un intérêt bien moindre, les phénomènes gênants et les accidents correspondant toujours à des variations brusques de la vitesse. De

⁽²⁾ On trouvera un développement un peu plus complet de ce point particulier dans la conférence de MM. AUCLAIR et BOYER-GRILLOUX, publiée dans le *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*, juillet 1913 et dans *R. G. E.*, 1919, t. VI, p. 500.

là l'utilité de l'appareil décrit, qui a justement pour but la mesure de l'accélération.

PRINCIPE. — Une masse M est, par un dispositif mécanique approprié, en équilibre dans l'espace; on lui fait exercer une petite pression sur une surface fixe, en sens inverse de la force produite sur cette masse par le mouvement étudié. Cette force tend dès lors à séparer la masse de la surface, et, en modifiant la pression, on fait varier la valeur de la force nécessaire pour obtenir juste la séparation. A ce moment, si γ est l'accélération communiquée à la masse M et f , la force avec laquelle la masse s'appuyait sur la surface, on a $f = M\gamma$, d'où on déduit γ .

Pratiquement l'appareil est disposé pour l'étude des vibrations dans le sens vertical et dans le sens horizontal.

1. *Vibrations verticales.* — La surface fixe est ici le heurtoir H (fig. 1) sur lequel la masse M peut s'appuyer, soit sur sa

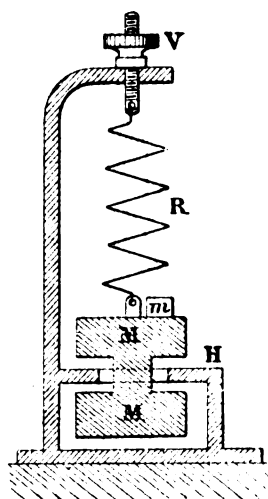


Fig. 1. — Principe de l'appareil pour l'étude des vibrations verticales.

surface supérieure, soit sur sa surface inférieure; M est maintenue en équilibre par le ressort R . S'il s'agit de mesurer une accélération dirigée de haut en bas, on tend le ressort jusqu'à ce que la masse ne se sépare plus du heurtoir sous l'effet du mouvement étudié. La force qui tend le ressort à ce moment, T , est ensuite déterminée par les poids qu'il faut ajouter, au repos, pour obtenir juste la séparation. On a très sensiblement :

$$M\gamma = T = mg.$$

Si l'accélération est dirigée de bas en haut, on détend le ressort jusqu'à faire toucher la masse M sur la partie supérieure du heurtoir, mais sans pression. L'on ajoute alors une petite masse supplémentaire m , telle que la vibration produite juste la séparation entre M et H .

A ce moment on a très sensiblement :

$$mg = (M + m)\gamma,$$

d'où l'on tire γ .

2. *Vibrations horizontales.* — La masse M est suspendue à un axe et forme un pendule vertical (fig. 2). La pression heurtoir n'est plus obtenue par un ressort mais par l'addition d'une petite masse supplémentaire que l'on attache au bras de levier horizontal b . Pour faire une mesure, l'appareil est réglé, au moyen de vis calantes, de façon à faire

toucher la masse et le heurtoir, sans pression. On ajoute la masse m et on règle jusqu'à ce que la vibration étudiée produise juste le décollement. En exprimant qu'à ce moment

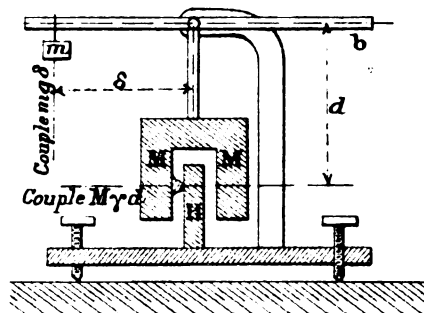


Fig. 2. — Principe de l'appareil pour l'étude des vibrations horizontales.

l'appareil est soumis à deux couples opposés qui s'annulent, on obtient la valeur de l'accélération par la relation

$$M\gamma d = mg\delta.$$

DÉTAILS DE CONSTRUCTION — Le même appareil permet d'obtenir les deux dispositions précédentes; il présente, en outre, quelques points particuliers intéressants. La masse M n'est point libre comme il est indiqué sur la figure 1; on lui

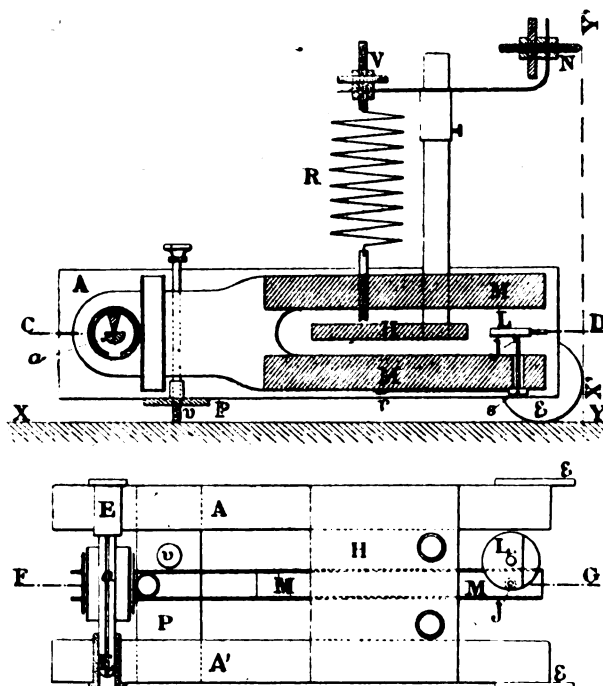


Fig. 3 et 4. — L'appareil tel qu'il est réalisé pratiquement.

a donné la forme d'un Y, la masse pesante se trouvant du côté des branches (fig. 3 et 4) et on l'a suspendue en a (fig. 3).

Sur cette figure, le pendule est disposé pour déceler les vibrations verticales, l'appareil reposant sur le sol figuré par la ligne XY . Pour se représenter le pendule pour oscillations horizontales — correspondant à la figure 2 — il faudrait le faire tourner de 90° , le sol devenant la ligne $X'Y'$ et le contre-a étant disposé pour permettre ce changement.

Le plan de symétrie de la masse doit contenir l'axe d'oscillation et être horizontal. Le centre de percussion placé entre les branches de l'Y est accessible, il est aussi dans le plan de symétrie. Le point d'attache du ressort vertical R se trouve ainsi sur le point d'appui de la masse sur le heurtoir, sur la verticale passant par ce centre de percussion. Enfin la masse additionnelle se place aussi près que possible de cette verticale.

Axe de suspension. — L'appareil doit pouvoir, suivant le cas, servir à déceler les vibrations horizontales ou verticales; mais, pour que la sensibilité soit suffisante, la rotation doit avoir lieu sur un couteau.

On a réalisé ces deux conditions par le montage représenté par la figure 5.

Le couteau est fixé à un premier cylindre qui tourne lui-même dans un autre lequel est fixe; l'arête du couteau,

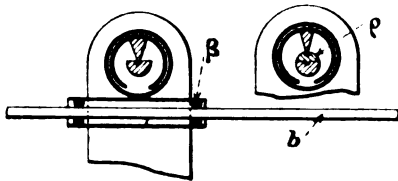


Fig. 5.

correspondant avec l'axe de ces cylindres, repose dans une rainure creusée dans un axe *a* pouvant lui-même tourner.

Pendant le transport, une règlette de bois se place entre l'axe et le couteau, afin que les chocs ne puissent émousser l'arête de celui-ci.

Indicateur de contact. — Il est de toute utilité de saisir l'instant précis où se produit la séparation entre la masse et le heurtoir. On pourrait les introduire tous deux dans le circuit d'un téléphone et celui-ci marquerait, par un bruit sec, le commencement ou la fin du contact entre ces pièces. Cette méthode simple présente de sérieux inconvénients pratiques. L'auteur a préféré utiliser un contact indépendant, disposé de telle sorte qu'il ait lieu dès que la masse *M* abandonne le heurtoir. Entre ces deux contacts, l'un électrique, l'autre mécanique, il y a nécessairement un jeu correspondant au déplacement de la masse, et il est nécessaire, pour que les mesures soient comparables, que cet écart soit toujours le même. Un artifice intéressant est employé dans ce but : le contact électrique a lieu entre une pointe et un disque qui, pouvant tourner sur lui-même, présente sur un secteur une diminution d'épaisseur de 0,02 mm. Il suffit d'amener, en se servant du téléphone comme indicateur, la partie épaisse du disque en contact, sans pression, sur la pointe, puis de faire tourner le disque jusqu'à présenter la partie amincie pour avoir, au repos, un écart bien constant entre la pointe et le disque.

Par mesure de sécurité la pointe du contact électrique n'est pas fixe; elle est portée par un ressort qui évite que le disque ne soit rayé par la pointe, ce qui modifierait leur écartement.

Calage de l'appareil. — Il est obtenu, dans la position horizontale par deux excentriques et une vis réglable *v*, et dans la position verticale, par les mêmes excentriques et la béquille *N*.

Niveau. — L'auteur termine par une note sur l'emploi du niveau afin d'obtenir la parfaite verticalité de l'appareil nécessaire à des mesures précises, et sur la possibilité de déterminer, par deux lectures différentes, l'approximation de ces mesures. — B. E.

Sur une nouvelle méthode d'émission doublant le rendement des stations de télégraphie sans fil (1).

On a déjà cherché à augmenter le rendement des grands postes de télégraphie sans fil en envoyant simultanément deux télégrammes par la même antenne. Mais cette augmentation de rendement était toujours obtenue, jusqu'ici, au détriment de la portée des transmissions, parce que les procédés employés reposaient tous sur le partage entre les deux émissions de la puissance disponible dans le poste transmetteur. La transmission étant faite ainsi à puissance réduite, la portée du poste se trouvait nécessairement diminuée.

Une nouvelle méthode, due à MM. Henri ABRAHAM et René PLANIOL, dont la description a fait l'objet d'une note présentée à la séance du 15 mai 1922 de l'Académie des Sciences, permet, au contraire, de transmettre deux télégrammes en même temps en utilisant, pour chacun d'eux, toute la puissance de l'émission sans que l'envoi de l'un des télégrammes trouble la transmission de l'autre, et en conservant, par conséquent, à la double transmission exactement la même portée qu'à une transmission simple ordinaire. Ce résultat d'apparence paradoxale est obtenu sans difficulté par de simples variations dans la longueur d'onde des émissions.

Le premier télégramme est transmis en principe sur une longueur d'onde *A*, le second sur une longueur d'onde *B*; mais les choses sont disposées de telle sorte que lorsque les deux clefs de manipulation se trouvent en même temps sur leur position de travail, l'émission se fait sur une troisième longueur d'onde *C*. Chacune des émissions *A*, *B*, *C*, est faite avec toute la puissance du poste.

Les signaux du premier télégramme se trouvent ainsi transmis, tantôt sur la longueur d'onde *A* et tantôt sur la longueur d'onde *C*. Le poste récepteur auquel ce télégramme est destiné doit donc recevoir indifféremment des émissions de longueurs d'ondes *A* ou *C* à l'exclusion de toute autre. Il suffit pour cela de disposer à la station réceptrice deux groupes de circuits résonnants convenablement accordés sur les fréquences utilisées. Ces circuits actionnent finalement un instrument récepteur, qui peut être soit un écouteur téléphonique, soit un appareil enregistreur.

Les études faites pour la mise au point de ce procédé de radiotélégraphie multiplex ont été entreprises avec le concours du Service d'études et de Recherches techniques des Postes et Télégraphes et de la Radiotélégraphie militaire, grâce à une subvention de la Caisse des Recherches scientifiques. Elles viennent d'aboutir à un essai industriel effectué en collaboration avec le Département de la Marine.

Les émissions étaient faites à Nantes, par le grand poste à arc de la Marine, qui envoyait à pleine charge deux télégrammes en même temps. La réception se faisait à Paris, soit par inscription, soit par écoute à l'oreille. Les résultats satisfaisants de ces expériences semblent indiquer que la radiotélégraphie diplex à pleine charge peut, dès maintenant, entrer dans la pratique.

Ce nouveau procédé permet, sans augmentation de dépense, de doubler l'intensité du trafic. Un poste transmetteur, équipé comme il a été dit, fera exactement le même service que deux stations distinctes de même puissance. En outre, les changements constants dans la longueur d'onde des émissions assurent d'une manière très efficace le secret de la correspondance. — M.-H. B.

(1) H. ABRAHAM et R. PLANIOL. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 15 mai 1922, t. CLXXIV, p. 1283-1285.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société d'Électricité de Caen.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 26 MAI 1922.

L'exploitation s'est effectuée pendant toute cette période sans incident et la société a alimenté sa clientèle avec toute la régularité désirable.

Elle a doté la chaufferie de nouvelles installations de manutention mécanique, complété les dispositifs de secours et poursuivi avec ténacité la mise au point de tout le matériel de la centrale en vue de l'amélioration du rendement. Le ravitaillement en charbon a été assuré convenablement en qualité et en quantité.

Au cours de l'exercice a été achevé et mis sous tension l'important feeder 30 000 v, atteignant Condé-sur-Noireau.

La société a, en outre, exécuté les lignes, postes de transformation et réseaux de distribution pour desservir 12 nouvelles concessions pour l'alimentation desquelles elle a obtenu des participations de communes intéressées.

L'augmentation de longueur des réseaux de distribution atteint 72 km, savoir : 46 km en haute tension et 26 km en basse tension.

L'ensemble des lignes appartenant à la société et en service atteignait ainsi, au 31 décembre 1921, la longueur de 331 km.

Le nombre de clients desservis est de 9 800 en augmentation de 1 270, le nombre de lampes de 114 200 en augmentation de 13 200 et le nombre des moteurs branchés au 31 décembre 1921 était de 1 088, utilisant une puissance de 55 300 ch.

La société a poursuivi avec succès, auprès des communes qu'elle dessert, les négociations entreprises en vue d'obtenir la tarification en fonction de l'index économique.

Le Conseil a déjà signalé les accords intervenus avec les conseils municipaux de Caen et de Bayeux. En ce qui concerne les autres communes desservies, la plupart des avenants aux contrats de concession ont été déjà votés par les conseils municipaux et approuvés par les autorités administratives. Quelques avenants seuls acceptés par les municipalités sont encore à l'enquête.

Il a été accordé à la société, au cours de l'exercice, 12 nouvelles concessions, de sorte qu'elle dessert, au 31 décembre 1921, 36 communes. Elle a obtenu la concession d'Etat, d'une durée de cinquante ans, pour distribution aux services publics pour tout le feeder de Caen à Condé-sur-Noireau.

L'enquête se poursuit, en ce qui concerne la mise sous le régime de la concession d'Etat demandée pour tous les autres feeders à 30 000 v.

En ce qui concerne la création d'une usine hydroélectrique sur l'Orne, la société a fait avec un groupe de l'Orne un accord, intéressant pour elle, lui assurant en tout cas la fourniture de l'énergie hydraulique à provenir de cette

chute et qui serait à distribuer dans le département du Calvados.

Le Conseil rappelle aux actionnaires qu'à l'effet de procéder à la consolidation financière de la société et de lui assurer le fonds de roulement indispensable, ils ont donné dans l'assemblée générale extraordinaire du 29 juin 1921, tous pouvoirs au Conseil pour réaliser l'augmentation de capital de la société en vue de le porter à 5 000 000 fr et pour procéder à une émission d'obligations jusqu'à concurrence de 4 500 000 fr.

Les conditions économiques générales n'ont pas paru favorables jusqu'à ce jour pour effectuer cette opération.

Le montant des recettes s'est élevé à 6 580 564,86 fr en diminution de 1 573 203,77 fr, cette diminution provient de la réduction des clauses charbonnières en raison de l'abaissement du prix du combustible; elle a sa contre-partie dans la diminution des dépenses de production de l'énergie.

Le bénéfice d'exploitation a atteint 1 631 303,23 fr en progression de 395 179,95 fr, les revenus du portefeuille sont de 3 750 fr.

Après déduction des frais généraux, des intérêts divers, de la perte au change de 159 000 fr et de la réserve générale d'amortissement, des réserves d'amortissement pour remboursement des obligations, le bénéfice de l'exercice ressort à 458 556,71 fr en augmentation de 219 888,88 fr.

Le solde 458 556,71 fr, auquel s'ajoutent le report de 5 371,72 fr, se répartit de la façon suivante :

5 pour 100 à la réserve légale, un dividende de 8 pour 100 aux actions, 16 594,33 fr au Conseil, 175 000 fr pour réserve pour risques de change.

Le report à nouveau est de 49 407,27 fr.

Le dividende est mis en paiement depuis le 31 mai 1922 sous déduction des impôts, contre remise du coupon n° 20, à raison de 7,20 fr pour les actions nominatives et de 7 fr pour les actions au porteur.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1921.

| Actif. | fr |
|----------------------------------------------------------|----------------------|
| Apports..... | 1 » |
| Frais d'augmentation de capital..... | 1 » |
| Frais d'émission des obligations..... | 1 » |
| Prime de remboursement des obligations..... | 247 500 » |
| Dépenses de premier établissement : | |
| Immeubles, usines, canalisations, postes et réseaux..... | 9 995 367,25 |
| Chute de l'Orne..... | 184 458,76 |
| Compteurs..... | 872 857,57 |
| Mobilier, automobiles et outillage..... | 64 909,44 |
| Portefeuille..... | 56 701 » |
| Marchandises en magasin..... | 861 078,88 |
| Cautionnements..... | 5 000 » |
| A reporter..... | 12 287 875,90 |

| | | |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|
| | <i>Report</i> | 12 287 875,90 |
| Caisses et banques..... | | 551 350,16 |
| Effets à recevoir..... | | 11 398,40 |
| Abonnés et débiteurs divers..... | | 1 484 919,15 |
| Impôts à recouvrer..... | | 15 990,50 |
| | | <hr/> 14 351 534,11 |

Passif.

| | | |
|--------------------------------------------------------------|-----------|---------------------|
| | <i>fr</i> | |
| Capital..... | | 2 500 000 » |
| 420 obligations de 500 fr à 4 pour 100..... | | 210 000 » |
| 5500 obligations de 500 fr à 5 pour 100..... | | 2 750 000 » |
| Réserve légale..... | | 83 076,66 |
| Réserve d'amortissement par remboursement d'obligations..... | | 291 062,50 |
| Réserve générale d'amortissement..... | | 1 000 000 » |
| Fonds de renouvellement du matériel..... | | 500 000 » |
| Fournisseurs, créanciers divers et effets à payer..... | | 6 373 179,82 |
| Coupons actions..... | | 7 461,37 |
| Coupons obligations et obligations à rembourser..... | | 133 430,33 |
| Obligations amorties à remboursement ajourné..... | | 39 375 » |
| Profits et pertes reportés..... | | 5 371,72 |
| Bénéfice de l'exercice..... | | 458 556,71 |
| | | <hr/> 14 351 534,11 |

Ateliers de Constructions électriques de Delle.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 31 MAI 1922.

Le rapport du Conseil fait ressortir que cette société a été peu atteinte par la crise actuelle, ses ateliers étant très occupés par la construction d'appareillage à très haute tension destiné à l'électrification des chemins de fer et à l'établissement des réseaux d'Etat de distribution d'électricité.

L'assemblée, après avoir ratifié la nomination de M. Henri de Raemy, directeur général de la société, comme administrateur, a approuvé à l'unanimité les comptes de l'exercice 1921 se soldant, après déduction des amortissements et provisions diverses, par un bénéfice net de 850 219,62 fr en augmentation de 312 309 fr sur celui de l'exercice précédent. Le report à nouveau de l'exercice précédent étant de 307 697 fr, la somme totale disponible était de 1 157 917 fr.

Il est attribué un dividende de 40 fr par action entièrement libérée et de 17,50 fr par action libérée du quart.

Le report à nouveau est de 552 911 fr.

BILAN APRÈS RÉPARTITION

| | | |
|-----------------------------------|----------------|---------------------|
| | <i>Actif.</i> | <i>fr</i> |
| Immobilisations..... | | 6 111 801,90 |
| Marchandises..... | | 2 575 581,56 |
| Espèces en caisse et banques..... | | 5 471 027,44 |
| Actif réalisable..... | | 6 711 581,16 |
| Compte d'ordre..... | | 70 000 » |
| | | <hr/> 20 939 991,06 |
| | <i>Passif.</i> | <i>fr</i> |
| Capital social..... | | 6 000 000 » |
| Réserve et amortissements..... | | 2 910 000 » |
| Capital obligataire..... | | 6 000 000 » |
| Exigibilités et provisions..... | | 5 466 082,81 |
| Compte d'ordre..... | | 70 000 » |
| Report à nouveau..... | | 553 911,25 |
| | | <hr/> 20 939 991,06 |

Société d'Electricité de la région de Valenciennes-Anzin.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 18 MAI 1922.

L'exercice 1921 est le premier, depuis la fin de la guerre, qui ait bénéficié d'une marche normale; la remise en état de la Centrale de Valenciennes est, en effet, presque complètement terminée.

Les perfectionnements appliqués aux batteries de chaudières n'ont toutefois été achevés qu'au cours de l'année. Ils ont répondu pleinement au but poursuivi, et les améliorations attendues se sont trouvées confirmées.

L'importance de la clientèle s'est accrue rapidement, la société poursuit l'électrification des communes comprises dans sa zone d'action.

Les bénéfices des usines et produits divers ont atteint 3859 421,88 fr auxquels s'ajoutent le solde reporté de l'exercice 1920, 2 149,31 fr.

Les frais généraux d'administration et impôts divers atteignent 278 977,20 fr. Le prélèvement pour amortissement des frais de constitution de la société est de 59 761,90 fr, le prélèvement pour fonds d'amortissement et renouvellement du matériel de 1 500 000 fr.

Le solde bénéficiaire s'élève à 2 022 832,09 fr. Il est réparti de la façon suivante:

5 pour 100 à la réserve légale, un premier dividende de 5 pour 100 soit 12,50 fr aux 80 000 actions, 59 777,16 fr au Conseil, un deuxième dividende de 3 pour 100 aux 80 000 actions, un dividende de 25,71 fr aux parts.

Le report à nouveau est de 487 779 fr.

Les dividendes de 20 fr par action et de 25,71 fr par part sont payables, sous déduction des impôts, à partir du 1^{er} juin 1922 contre remise du coupon n° 2.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1921.

| | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|
| | <i>Actif.</i> | <i>fr</i> |
| Portefeuille, titres..... | | 171 750 » |
| Usines, réseaux et concessions : | | |
| 1 ^{re} Installations n'ayant pas subi de dommages..... | | 6 928 906,84 |
| 2 ^e Installations détruites, enlevées ou détériorées pendant les hostilités..... | | 7 690 551,46 |
| Disponibilités : caisses, banques et débiteurs divers..... | | 11 867 263,50 |
| Reconstitution industrielle..... | | 12 816 276,64 |
| Magasins (approvisionnements et sous-produits)..... | | 1 674 845,78 |
| Titres à libérer (compte d'ordre)..... | | 279 750 » |
| | | <hr/> 41 429 344,22 |

| | | |
|-------------------------------------------------------------|----------------|---------------------|
| | <i>Passif.</i> | <i>fr</i> |
| Capital : | | |
| 80 000 actions de 250 fr..... | | 20 000 000 » |
| 10 000 parts bénéficiaires..... | | Mémoire |
| Réserve légale..... | | 68 835,55 |
| Fonds d'amortissement et de renouvellement du matériel..... | | 2 500 000 » |
| Créditeurs divers..... | | 6 772 596 » |
| Avances de l'Etat sur reconstitution industrielle..... | | 9 784 118,80 |
| Coupons restant à payer..... | | 1 211,76 |
| Compte d'ordre (titres à libérer)..... | | 279 750 » |
| Profits et pertes (solde)..... | | 2 022 832,09 |
| | | <hr/> 41 429 344,22 |

SECTION DE LÉGISLATION

Mise en régie et déchéance-procédure

(Articles 25 et 26 du cahier des charges type)

L'auteur continue l'examen de la différence profonde existant entre la régie directe qu'il a étudiée dans son précédent article, (R. G. E., 20 mai 1922, t. XI, p. 763-768) et la mise en régie, si souvent suivie de déchéance, qu'il étudie dans les lignes qui vont suivre.

Observations générales. — Sous un nom plus particulièrement réservé au domaine des contrats administratifs, la *déchéance* est une mesure d'une importance extrême que le Code civil appelle résiliation ou résolution : « La condition résolutoire, dit l'article 1184, est toujours sous-entendue dans les contrats synallagmatiques pour le cas où l'une des deux parties ne satisfera pas à son engagement; dans ce cas, le contrat n'est pas résolu de plein droit, . . . la résolution doit être demandée en justice ». Sans doute, les parties contractantes peuvent établir une dérogation à cette règle générale et dire que, si une des parties manque à son obligation, le contrat sera résolu de plein droit; mais la jurisprudence des tribunaux civils n'a jamais été très favorable à cette stipulation qui tend à autoriser une partie contractante à se faire justice elle-même; en tout cas, elle n'en tolère l'accomplissement qu'après une mise en demeure ⁽¹⁾. La jurisprudence administrative a partagé la même idée; on peut consulter divers arrêts : Conseil d'Etat, 20 mai 1892 (*Sirey*, 1894, 3, 30; affaire Teissier contre Société du Casino municipal de Nice; 18 mai 1888 (*Dal.*, 1889, 3, 80; affaire commune Villers-sur-Mer); 27 février 1885, (*Recueil de Lebon*, 1885, p. 259; affaire canaux agricoles); cette dernière affaire est intéressante en ce que le Conseil a décidé que le concessionnaire n'est pas recevable à formuler un recours direct au Conseil d'Etat, mais doit saisir le Conseil de Préfecture qui est juge du contrat.

Le but de l'article 25 a été manifestement le suivant :

a) Enlever au maire le droit de prononcer la déchéance; on a voulu éviter ainsi qu'une des parties contractantes décrêtât elle-même la fin des conventions réciproques;

⁽¹⁾ De plus en plus, la jurisprudence tend à appliquer à la rupture prévue dans tout contrat synallagmatique, les obligations que l'article 1656 du Code civil impose au vendeur d'un immeuble non payé : « S'il a été stipulé, lors de la vente de l'immeuble, que, faute du paiement du prix dans le terme convenu, la vente serait résolue, l'acquéreur peut néanmoins payer après l'expiration du délai, tant qu'il n'a pas été mis en demeure par une sommation; mais après la sommation, le juge ne peut accorder de délai ».

b) Dispenser la commune de l'obligation de saisir le juge administratif pour obtenir la rupture du contrat;

c) Donner au ministre des Travaux publics, et à lui seul, le droit de décider que la déchéance aura lieu, sur la proposition conforme du conseil municipal;

d) Enumérer (pour éviter l'arbitraire du ministre) les cas dans lesquels la déchéance sera encourue, c'est-à-dire susceptible d'être légalement prononcée;

e) Réserver formellement le recours du concessionnaire au Conseil d'Etat statuant au contentieux, contre la décision ministérielle.

Cas où la déchéance est encourue. — Nous réunissons dans ce paragraphe les deux cas où la déchéance intervient *sans* mise en régie préalable, qui sont :

1^{er} Retard du concessionnaire par rapport aux délais et conditions prévus au cahier des charges, dans la présentation des projets d'exécution ou dans l'achèvement de la mise en service des lignes de distribution. On sait que ce retard attire au concessionnaire la pénalité indiquée à l'article 30 pour manquement à l'article 6; mais ce n'est pas pour toucher le montant des pénalités prévues que la commune a donné une concession; c'est pour avoir le courant stipulé, et elle ne saurait rester longtemps dans cette situation bizarre : d'une part, être liée par un contrat et par conséquent paralysée en ce qui concerne toute tractation avec un tiers, et, d'autre part, être dans l'expectative en ce qui concerne les fournitures envisagées;

2^o Retard dans la reconstitution du cautionnement quand il a été diminué par des prélèvements prescrits au cahier des charges en faveur de la commune. Le cautionnement constitué d'après l'article 31 est un dépôt sur lequel se paient automatiquement les pénalités. Laisser amoindrir cette somme, c'est dépouiller la commune de cette garantie et rendre illusoire le paiement de plein droit.

Cas où la déchéance est précédée de la mise en régie. — Un service de distribution ne doit ni être une cause de perturbation pour la sécurité publique,

ni connaître de période de chômage; il faut, si la première éventualité se produit, que le *maire*, après avoir sollicité l'avis de l'ingénieur en chef du contrôle, prenne aux frais et risques du concessionnaire les mesures provisoires pour faire cesser tout danger; le préfet peut les modifier... au moins théoriquement..., car, comme le même ingénieur en chef inspirera les deux fonctionnaires, le changement ne se produira pas souvent; en tout cas, au préfet seul il appartient d'impartir un délai pour la reprise normale, en pleine sécurité, de l'exploitation existante.

Si l'exploitation vient à être interrompue (c'est la seconde éventualité : le chômage), il y aura « mise en régie », c'est-à-dire exploitation aux frais et risques du concessionnaire après mise en demeure de reprendre le service.

Si, dans les deux cas ci-dessus prévus, le concessionnaire ne prend pas des moyens efficaces, la déchéance est alors encourue et l'on rentre dans le cas envisagé dans le numéro précédent.

Procédure faisant suite à la déchéance. — Bien des conseils municipaux supposent que la déchéance est un moyen pratique de prendre gratuitement tout ce que le concessionnaire a établi; néanmoins quelques minutes de réflexion suffisent pour comprendre qu'il ne peut en être ainsi : cette attribution gratuite est prévue pour le terme même de la concession, lorsque, par suite du délai normal prévu au contrat, le concessionnaire est censé avoir amorti complètement le coût de ses travaux; la mise en déchéance le prive de la rémunération prévue et fait tomber la concession; la commune trouvera un autre concessionnaire; ce dernier, pas plus qu'elle-même, ne peut entrer en possession sans que la valeur en ait été remboursée au constructeur ou qu'il y ait eu au moins une tentative de remboursement; c'est pourquoi l'article 26 dispose :

1° Pour éviter une appréciation excessive en un sens ou en l'autre, une adjudication est ordonnée sur une mise à prix fixée par le ministre qui a prononcé la déchéance, après avis du préfet, du conseil municipal, le concessionnaire déchu étant entendu;

2° Le fait de rester adjudicataire entraîne l'engagement : a) de continuer les travaux commencés; b) de se substituer pour le temps restant à courir, au concessionnaire évincé, dans toutes les charges et conditions; c) de payer audit concessionnaire le prix de l'adjudication;

3° Si une première mise aux enchères n'a donné aucun résultat, cela peut tenir à deux causes : soit à une mise à prix trop élevée, soit à une absence à peu près complète de valeur du réseau (par exemple si le cahier des charges auquel il faudra faire face est trop draconien); le seul moyen de mettre les choses au point et de procéder à une mise aux enchères, sans fixation de mise à prix dans un délai de trois mois; si la seconde tentative ne donne pas plus de résultat que la première (*mais dans ce cas-là seulement*) les ouvrages

et le matériel de la distribution et les approvisionnements deviendront, sans indemnité, la propriété de la commune.

Formalités de l'adjudication. — Sur ce point, l'article 25 du cahier-type se réfère aux articles 11, 12, 13, 15, 16 de l'ordonnance du 10 mai 1829 dont le texte sous le titre « ordonnance relative à la distribution des fonds affectés aux travaux des Ponts et Chaussées et au mode d'adjudication de ces travaux » figure au Code des Lois politiques et administratives, vol. Travaux publics, page 530.

Il formule en plus certaines indications spéciales :

Les formalités de l'ordonnance de 1829 sont assez simples : le préfet préside la séance, entouré des conseillers de préfecture et de l'ingénieur en chef; il reçoit de chaque candidat deux plis cachetés : le premier contient les certificats de capacité et pièces que tout candidat a le droit de faire connaître pour démontrer sa compétence et ses aptitudes de toute nature à devenir adjudicataire; ce premier pli est ouvert (art. 11); il y a délibération en dehors du public et le préfet arrête la liste officielle des candidats admis (art. 12) ⁽¹⁾; la séance redevenant publique, le second pli cacheté contenant la soumission est ouvert et le soumissionnaire qui fait la condition la plus avantageuse est déclaré adjudicataire (art. 13); lorsqu'un certificat de capacité n'aura pas été admis le pli contenant la soumission ne sera pas décacheté (art. 15). Toute soumission qui ne sera pas conforme au projet adopté sera réputée nulle et non avenue.

Enfin, tous les candidats avant de concourir, auront dû effectuer un dépôt de garantie à la trésorerie générale ou à la Caisse des Dépôts et Consignations égal au montant du cautionnement. La somme représentée par des titres ou du numéraire est toujours restituée, même d'office, si le candidat n'est pas adjudicataire ou, dans le cas contraire, gardée à titre de cautionnement définitif (Décret du 18 novembre 1882, Code des Lois politiques et administratives annoté, p. 529).

De la force majeure. — L'article 25 se termine par cette phrase : « la déchéance ne sera pas encourue dans le cas où le concessionnaire n'aurait pu remplir ses obligations par suite de circonstances de force majeure dûment constatées ». Et cette citation amène forcément cette question : qu'est-ce que la force majeure? Deux articles du Code civil s'en occupent sans la définir; l'article 1138 dit : « il n'y a aucuns dommages intérêts lorsque, par suite d'une force majeure

⁽¹⁾ Il est assez difficile de concilier cette formalité qui, d'après l'ordonnance de 1829 doit être accomplie par le préfet et le troisième paragraphe de l'article 25 qui est ainsi conçu : « nul ne sera admis à concourir s'il n'a été au préalable agréé par le préfet sur la proposition du conseil municipal »; or, le conseil municipal n'est pas représenté à l'adjudication. Pour se conformer à cette prescription qui d'ailleurs, n'est pas substantielle, le préfet devrait demander au conseil municipal de lui envoyer une liste des concessionnaires agréés par la commune.

« ou d'un cas fortuit, le débiteur a été empêché de donner ou de faire ce à quoi il était obligé ». L'article 1147 qui précède avait mis la charge de la preuve au débiteur d'une obligation qui doit prouver que l'inexécution est due à une cause étrangère qui ne peut lui être imputée. Aussi la doctrine et la jurisprudence se sont-elles efforcées de donner une définition. Malgré la diversité des formules, les unes plus longues, les autres plus courtes, on arrive généralement à celle-ci : la force majeure est tout événement qu'on ne saurait prévoir et auquel on ne saurait résister quand on l'a prévu ⁽¹⁾.

A) Un incendie, par exemple, est un événement que le distributeur peut prévoir ; aucune usine n'est à l'abri d'un pareil sinistre ; un coup de foudre qui grille un transformateur est un accident assez fréquent pour que je puisse l'envisager, sans en connaître évidemment ni le temps, ni l'heure ; mais, quand il se produit, le distributeur ne peut l'empêcher ; la méchanceté humaine et l'étourderie des enfants sont assez connues pour que personne ne soit surpris d'un court-circuit causé par la projection d'un fil de fer qui réunit entre eux des fils d'une distribution aérienne. Il n'est pas possible à une société d'échelonner des centaines de gardiens, en permanence, nuit et jour, le long de son réseau.

Dans tous ces cas, la faute ne commencerait pour le distributeur qu'au moment où il n'aurait pas fait la diligence nécessaire pour arrêter les conséquences du sinistre, et il n'existe point de faute quand aucune perturbation ne lui a révélé l'accident. Ce dernier point a fait l'objet de deux procès extrêmement intéressants.

Le 18 mars 1918, la Cour de Nîmes a jugé l'affaire suivante : un isolateur se rompt, à la suite de la jonction de plusieurs fils provoquée par un fil de fer jeté par un inconnu. *Aucune perturbation ne se manifeste dans le service* ; mais le fil à haute tension (13 500 v) tombe sur un fil à basse tension (500 v) placé sur le même poteau : ce contact détermine aussitôt une surtension sur tout le réseau des abonnés et des avaries plus ou moins graves chez plusieurs d'entre eux ; en particulier chez un sieur Perrot le fil qui actionnait un ventilateur s'enflamme, se sépare en deux parties et Perrot est foudroyé par celle restée en communication avec le fil d'amenée. La Cour de Nîmes confirme le jugement qui a déclaré exempte de toute faute la société qui n'aurait pu empêcher l'acte stupide d'un passant et ne s'en est pas aperçu.

Au contraire, dans une instance solutionnée définitivement par la Chambre des Requêtes (arrêt du 20 novembre 1918, communication du Comité du Contentieux de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques n° 334, août 1919, affaire Société Saône-Electricité contre Millière) il s'agissait également de la rupture d'un fil à haute tension resté accroché à un fil basse tension qui avait déterminé un incendie. La Cour de Dijon avait remarqué après expertise : 1° que plusieurs

incendies causés par ce fait s'étaient déclarés dans la même nuit, avertissant la société de distribution ; 2° que la société n'avait pris dans son réseau aucune précaution pour empêcher la rupture qui avait été causée pendant une nuit où soufflait un vent normal ⁽¹⁾.

B) Dans d'autres cas, le fait dommageable est loin d'être inconnu, et se présente même à des époques en quelque sorte repérées sur l'almanach : gelée, inondation, sécheresse, vent : mais il devient un cas de force majeure dès que, même pour la période prévue, il dépasse en violence et que l'on pouvait envisager, le problème réside dans une question de mesure.

Sur ce point, il est difficile de donner des règles générales, car dans chaque cas particulier on rentre dans la théorie de l'imprévision qui dépend, évidemment, d'une question de fait. Le Conseil d'Etat l'a appliquée dans des circonstances connues de tous : au sujet du prix du charbon dans les distributions de gaz ; dire que l'on ne pouvait prévoir une augmentation, ce serait dire une absurdité, car jamais personne n'a pu affirmer qu'une matière première n'augmenterait pas de prix. Mais à partir de quel chiffre l'augmentation est-elle entrée dans le domaine de l'imprévisible ? C'est ce qui doit être établi dans chaque cas (arrêt du 30 mars 1916, *Dalloz*, 1916, 3, 23, affaire Compagnie du Gaz de Bordeaux). Il en est ainsi pour les phénomènes naturels, d'après des circonstances qui ont varié pour une même société d'une année à l'autre et qui, par conséquent, sont plus que susceptibles de varier d'après les régions.

Ainsi, par exemple, en ce qui concerne les gelées, un arrêt du Conseil d'Etat du 15 janvier 1897 (*Dalloz*, 1898, 5, 149 ; affaire de Saint-Leu Taverny), décide que les gelées ont pu atteindre une intensité suffisante pour être considérées comme un événement de force majeure au sens du traité, sans qu'il en soit de même pour les gelées du mois de février (voir le texte intégral de cet arrêt dans *Dauvert*, t. III, p. 447) ⁽²⁾ ; le concessionnaire de l'éclairage électrique dans une ville n'est pas responsable des interruptions de service qui pro-

⁽¹⁾ Pour trouver un moyen juridique à invoquer devant la Cour de Cassation la Société Saône-Electricité avait soutenu que s'étant conformée à toutes les prescriptions du règlement du 3 avril 1908 sur les précautions à prendre, elle ne pouvait encourir aucune responsabilité ; la Cour de Cassation lui a répondu par l'article 57 du décret invoqué, article qui termine le chapitre des dispositions techniques : « les indemnités pour dommages résultant de l'établissement ou de l'exploitation d'une distribution sont entièrement à la charge du permissionnaire ou du concessionnaire qui reste responsable de toutes les conséquences dommageables de son entreprise, tant envers l'Etat, les départements et les communes qu'envers les tiers. » Les arrêts ci-dessus cités ne sont en rien contredits par l'arrêt de la Cour de Paris du 15 mars 1919, affaire Chateau contre Compagnie parisienne de Distribution d'électricité, (loco citato) année 1919, communication n° 333, dans lequel on voit une compagnie responsable d'un accident dû au mauvais état d'un transformateur dont elle devait contractuellement faire l'entretien.

⁽²⁾ Même arrêt : Conseil d'Etat, 13 février 1874 (*Dauvert*, t. I, p. 160, affaire Borias contre Ville de Figeac).

⁽¹⁾ BAUDRY-LACANTINIERE. *Obligations*, I, n° 454.

viennent de causes météorologiques constituant des faits de force majeure (Conseil d'Etat, 14 décembre 1900, *Recueil de Lebon*, p. 754, ville de Sisteron). C'est donc la différence du « plus ou moins » qui caractérise les décisions des juges et qui les rendent si difficiles à analyser. Un arrêt du Conseil d'Etat du 16 décembre 1892 (*Daloz*, 1894, 5, 661, affaire Condere contre ministre des Travaux publics) reconnaît le caractère de force majeure à la sécheresse de l'été 1881 (article 28 des clauses et conditions générales du 16 novembre 1886). La Cour de Paris reconnaît le même caractère aux inondations de 1910 quand, par l'arrêt de la circulation sur les voies latérales d'un chemin de fer, elles

imposent un ralentissement très sérieux dans la marche des trains (*Daloz*, 1911, 5, 23, affaire Chemin de fer du Midi), car il y a une perturbation anormale qui confine au bouleversement ; au contraire, un arrêt de la Cour de Lyon du 22 juin 1875 (*Daloz*, 1856, 2, 2, affaire Berthet contre Gontine) refuse le caractère de cas fortuit à un abaissement des eaux du Rhône qu'il considère simplement comme excessif et susceptible d'être rapidement neutralisé par quelques mesures qu'il était facile de prendre.

Paul BOUGAULT,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur l'assujettissement à l'impôt sur le revenu des réserves des sociétés en commandite simple ou en nom collectif.

La Chambre de Commerce de Roubaix a pris, sur ce sujet, la délibération suivante, dans laquelle elle demande que les sociétés en commandite simple ou en nom collectif bénéficient des avantages accordés aux sociétés anonymes en ce qui concerne les réserves sociales.

Dans la discussion qui a eu lieu à la Chambre des Députés, à propos du budget de 1922, l'article 8 de la loi de finances a fait l'objet de diverses observations qui valent d'être retenues.

Cet article est ainsi conçu :

« Dans le calcul de l'impôt général sur le revenu, les associés en nom collectif et les gérants en commandite simple devront déclarer toutes sommes prélevées sur les bénéfices nets de l'exercice pour être, soit distribuées aux associés, soit portées au crédit de leurs comptes courants, à l'exclusion de la fraction des bénéfices portés aux réserves sociales. »

Le ministre des Finances et le Commissaire du gouvernement se sont prononcés contre le maintien de l'exclusion prévue pour la fraction des bénéfices portés aux réserves sociales. Ils estimaient que le Trésor subirait un préjudice du fait de cette exclusion.

Il leur a été répliqué que si on l'appliquait la théorie qu'ils défendaient, aucune affaire industrielle ou commerciale ne pourrait constituer de réserves, à moins qu'elle ne se présente sous la forme de société anonyme. Il s'ensuivrait, a-t-on fait remarquer à cet égard, qu'une grande partie des bénéfices pourrait être comprise dans les sommes portées aux réserves sociales, et que les parts réellement encaissées par les intéressés seraient insuffisantes pour acquitter l'impôt sur le revenu qui aurait été établi sur les réserves effectuées. En cette situation, les participants des sociétés en commandite ou en nom collectif seraient exposés à devoir payer plus qu'ils n'auraient reçu. N'est-ce pas prévoir que, pour éviter ce danger, ils seraient incités à ne pas faire de réserves, alors que la prudence la plus élémentaire, jointe au souci d'assurer l'avenir contre l'adversité, leur conseille d'agir autrement ?

C'est un coup fatal qui serait porté à l'existence des sociétés en commandite ou en nom collectif si celles-ci étaient poussées vers cette extrémité, car il est bien évident que personne ne consentirait à accepter la responsabilité de les gérer dans un tel état d'insécurité pour les gérants.

La question est de savoir s'il y a intérêt à ce qu'il en advienne ainsi. Nous ne le pensons pas, quant à nous.

Les sociétés en commandite ou en nom collectif sont nombreuses, très nombreuses même. La raison en est que les affaires exigent de plus en plus de capitaux et que pour les réunir en suffisance, les particuliers doivent recourir à l'association, qui est devenue ainsi l'une des formes le plus en usage dans l'organisme commercial. En contrariant le fonctionnement de ces associations, on porte donc obstacle à l'exercice du commerce et de l'industrie, où elles jouent un rôle important et nécessaire.

D'ailleurs, leur disparition ne paraît pas être pour le fisc un moyen bien sûr pour étendre sensiblement ses prélèvements sur les bénéfices commerciaux, car l'on peut s'attendre à ce que la plupart d'entre elles, plutôt que d'abandonner la partie ou de restreindre leurs affaires, se transformeront en sociétés anonymes pour abriter leurs participants contre les atteintes de l'impôt, pour ce qui concerne la part qui leur est propre dans la fraction des bénéfices portés aux réserves sociales.

On peut se demander pourquoi cet avantage est accordé aux sociétés anonymes et pourquoi il est refusé aux sociétés en commandite ou en nom collectif. Ne poursuit-on pas le même but des deux côtés, et les réserves admises pour les unes cessent-elles d'être des réserves lorsqu'il s'agit de les admettre pour les autres ? La réponse est bien simple : c'est celle que le bon sens indique : il faut tenir la balance égale pour tous.

Sous le bénéfice des observations qui précèdent, la Chambre de Commerce de Roubaix émet le vœu :

« Que les sociétés en commandite simple ou en nom collectif bénéficient des avantages qui sont accordés aux sociétés anonymes, et que, par suite, leurs associés ou gérants soient dispensés de comprendre dans leur déclaration d'impôt sur le revenu la part proportionnelle qui leur reviendrait dans la fraction des bénéfices portés aux réserves sociales. »



